



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO
TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

JANNE PEKKALA

3D-LASERKEILAUSAINEISTON HYÖDYNTÄMINEN INFRAMAL-
LINTAMISEN YHTEYDESSÄ JA SEN LOPPUTUOTTEEN LAADUN
VARMENTAMINEN

Diplomityö

Tarkastaja: professori Kalle Kähkönen
Tarkastaja ja aihe hyväksytty
Talouden ja rakentamisen tiedekunta-
neuvoston kokouksessa 9. syyskuuta
2015

TIIVISTELMÄ

JANNE PEKKALA: 3D-laserkeilausaineiston hyödyntäminen inframallintamisen yhteydessä ja sen lopputuotteen laadun varmentaminen

Tampereen teknillinen yliopisto

Diplomityö, 84 sivua, 4 liitesivua

Lokakuu 2015

Rakennustekniikan diplomi-insinöörin tutkinto-ohjelma

Pääaine: Liikenne- ja kuljetusjärjestelmät

Tarkastaja: professori Kalle Kähkönen

Avainsanat: laserkeilaus, inframallintaminen, pistepilvi, maastomalli, laadun varmentaminen

Infra-alalla ollaan siirtymässä kohti inframallintamisen tehokasta hyödyntämistä hankkeen elinkaaren eri vaiheissa. Samalla luotettavien lähtötietojen merkitys korostuu. Yksi tärkeimmistä lähtötiedoista on maastomalliaineisto, jonka tuottamiseen käytetään yleisesti laserkeilaukseen perustuvaa mittausmenetelmää. Nykyiset laserkeilauslaitteistot pystyvät tuottamaan kustannustehokkaasti erittäin suuria ja tiheitä pistepilviaineistoja. Laserkeilauksen yleistyessä ja inframallintamisen osuuden kasvaessa on alettu miettiä, että voisiko laserkeilausaineistoja hyödyntää muutoinkin kuin pelkästään maastomallituotannossa. Tämän työn tavoitteena oli selvittää, miten laserkeilausaineistoa voitaisiin hyödyntää nykyistä paremmin inframallintamisen yhteydessä ja miten sen lopputuotteen laatu varmennetaan.

Tutkimusmenetelmänä käytettiin kirjallisuusselvitystä ja asiantuntijoiden haastatteluja. Kirjallisuudesta etsittiin tietoa laserkeilausaineistojen hyödyntämismahdollisuuksista erilaisissa infraan liittyvissä käyttökohteissa, pistepilvestä irrotettavien piirteiden sisältämien tietojen hyödyntämisestä ja maastomallin laadun varmentamisesta. Haastattelujen avulla pyrittiin saamaan asiantuntijoiden tämän hetkisiä ja tulevia näkemyksiä kyseisistä aiheista. Haastateltavat valittiin sillä perusteella, että he edustaisivat mahdollisimman monipuolisesti ja laajasti laserkeilausaineistojen käyttäjiä.

Tutkimuksessa selvisi, että laserkeilausaineistoja voidaan hyödyntää inframallintamisen yhteydessä monin eri tavoin. Niitä voidaan hyödyntää esimerkiksi maastomallituotannossa (suunnittelu), koneohjauksessa (rakentaminen) ja päällysteen analysoinnissa (kunnossapito). Pistepilvestä irrotettavien piirteiden sisältämien tietojen hyödyntämiseen saatiin useita mahdollisia kohteita ja muutoksia. Kohteiden sisältämää tietoa voitaisiin hyödyntää esimerkiksi mallintamisen yhteydessä. Muutoksien osalta hyödyntämistä voitaisiin tehdä esimerkiksi ajassa tapahtuvan muutoksen määrittämisessä. Laserkeilausaineiston lopputuotteen eli maastomallin laadun varmentamiseen saatiin useita pienempiä parannus- ja kehittämisideoita. Tärkeimpänä tuloksena esiin nousi se, että maastotietojen mittausohjeessa kuvattu maastomalliaineiston tarkastusmenettely ja käytäntö tulisi saattaa vastaamaan toisiaan.

Laserkeilausaineistoissa on mahdollisuuksia ja niitä kannattaisikin hyödyntää mahdollisuuksien mukaan nykyistä enemmän. Erilaisten kokeilujen ja pilottien avulla voidaan edistää aineistojen monipuolisempaa käyttöä. Myös tekniikoiden ja ohjelmistojen edelleen kehittyessä aineistoja pystyttänee tulevaisuudessa hyödyntää nykyistä täysimääräisemmin.

ABSTRACT

JANNE PEKKALA: Utilization of 3D laser scanning data in connection with infra product modelling and the quality assurance of its end product

Master of Science Thesis, 84 pages, 4 Appendix pages

October 2015

Master's Degree Programme in Civil Engineering

Major: Transportation Engineering

Examiner: Professor Kalle Kähkönen

Keywords: laser scanning, infra product modelling, point cloud, digital terrain model, quality assurance

Infra field is going through transition towards the efficient utilization of infra product modelling during the different stages of the life cycle of a project. At the same time the importance of reliable source information is emphasized. One of the most important source information is digital terrain model data, which is produced commonly by measuring methods based on laser scanning. Current laser scanning equipment can produce cost-effectively very large and dense point cloud data. As the laser scanning becomes more common and as the share of the infra product modelling increases, the thought of using laser scanning data also in other purposes than just in digital terrain model production has become of increasing interest. The objective of this work is to find out, how laser scanning data can be utilized better in connection to the infra product modelling and how the quality of its end product is assured.

The research method used was literature report and expert interviews. Information was searched from literature on utilizing opportunities of laser scanning data in different applications relating to infrastructure, on utilizing information included by characteristics extracted from point clouds and digital terrain model quality assurance. The current and future views of experts on topics in question were found out by means of interviews. The interviewees were selected based on as versatile and wide representation of the users of laser scanning data as possible.

In the research it was found out, that laser scanning data can be utilized in a variety of ways in connection to the infra product modelling. They can be utilized for example in to the digital terrain model production (planning), machine control (construction) and pavement analysis (maintenance). Several possible targets and changes were received in the utilization of information included by characteristics extracted from point clouds. The information included by the targets could be utilized for example in modelling. For the changes the utilization could be made for example in defining the change taking place in time. Several minor improvement and development ideas were made on the quality assurance of the end product of laser scanning data, in other words digital terrain model. The most important result was that the control procedure of the digital terrain model data described in the measurement guidelines of terrain data and the practice should match each other.

Laser scanning data has possibilities and they should be utilized more than currently as far as possible. More versatile utilization of the data can be promoted with the help of different experiments and pilots. Also with the development of techniques and software further the data should be utilized in the future more maximally than currently.

ALKUSANAT

Tämä diplomityö on tehty opinnäytteenä Tampereen teknillisen yliopiston rakennustekniikan laitokselle diplomi-insinöörin tutkintoa varten. Diplomityö on tehty Liikennevirastossa. Työtä on ohjannut ohjausryhmä, johon ovat kuuluneet Tiina Perttula (Liikennevirasto), Matti Ryyänen (Liikennevirasto), Mauri Laasonen (Tampereen teknillinen yliopisto), Hannes Mäkinen (Varsinais-Suomen ELY-keskus), Juha Liukas (Sito Oy) ja Lauri Hartikainen (3point Oy). Työn tarkastajana on toiminut professori Kalle Kähkönen sekä ohjaajina dosentti Mauri Laasonen ja diplomi-insinööri Tiina Perttula.

Aluksi haluan kiittää diplomityöni ohjaajana toiminutta dosentti Mauri Laasosta asiantuntevasta ja aktiivisesta ohjauksesta.

Haluan kiittää diplomi-insinööri Tiina Perttulaa ja Liikennevirastoa hienosta mahdollisuudesta tehdä diplomityö ajankohtaisesta ja mielenkiintoisesta aiheesta.

Kiitokset kuuluvat myös muille ohjausryhmän jäsenille, haastateltaville ja kaikille työn toteutuksessa mukana olleille.

Erityiskiitos perheelle, lähimmäisille ja ystäville, jotka ovat jaksaneet tukea ja kannustaa koko opiskelujen ajan.

Oulussa, 21.9.2015

Janne Pekkala

SISÄLLYSLUETTELO

1.	JOHDANTO	1
1.1	Tausta.....	1
1.2	Tavoitteet ja rajaukset	1
1.3	Rakenne ja sisältö	2
2.	LASERKEILAUUS JA INFRAMALLINNUS.....	3
2.1	Laserkeilauksen periaate	3
2.1.1	Lentolaserkeilaus	4
2.1.2	Ajoneuvolaserkeilaus	7
2.1.3	Maalaserkeilaus	9
2.1.4	Teollisuuslaserkeilaus	10
2.2	Pistepilviaineisto.....	11
2.3	Pistepilviaineistosta jalostettu lopputuote	15
2.4	Maastomallin laadun varmentaminen	17
2.5	Laadunohjaus ja -varmistus paikkatietoalalla	18
2.6	Laserkeilausaineiston hyödyntäminen infran eri käyttökohteissa	21
2.6.1	Lentolaserkeilaukseen pohjautuvat käyttökohteet	21
2.6.2	Ajoneuvolaserkeilaukseen pohjautuvat käyttökohteet.....	23
2.6.3	Maalaserkeilaukseen pohjautuvat käyttökohteet	29
2.7	Laserkeilausmenetelmien vertailua	31
2.8	Laserkeilauksen viimeaikaisia tutkimuksia.....	34
2.9	Inframallintaminen	36
2.10	Inframalli hankkeen eri vaiheissa	37
2.11	Mittaus- ja mallinnusohjeiden tarkastelua	38
3.	TUTKIMUSMENETELMÄT JA AINEISTO	43
4.	HAASTATTELUT	44
4.1	Laserkeilausaineiston hyödyntäminen	44
4.2	Yhteenvedo laserkeilausaineiston hyödyntämisestä.....	54
4.3	Maastomallin laadun varmentaminen ja raportointi	56
4.4	Yhteenvedo maastomallin laadun varmentamisesta ja raportoinnista.....	64
4.4.1	Maastomallin laadun varmentaminen	64
4.4.2	Raportointi.....	68
5.	TULOKSET.....	70
5.1	Laserkeilausaineiston hyödyntäminen inframallintamisen yhteydessä	70
5.2	Pistepilviaineistosta irrotettavia piirteitä.....	72
5.3	Maastomallin laadun varmentaminen ja raportointi	75
6.	YHTEENVETO.....	77
	LÄHTEET.....	79

LIITTEET

Liite 1 Haastatteluiden esimerkkikuvat

LYHENTEET JA MERKINNÄT

ALS	Airborne Laser Scanning – Lentolaserkeilaus tai ilmalaserkeilaus
AQL	Acceptance Quality Limit – Hyväksyttävän laadun raja
BIM	Building Information Model – Lyhenne rakennuksen tietomallin englanninkielisestä termistä. Käytetään myös yleisemmin kuvaamaan rakentamisen tietomallintamista.
CAD	Computer-aided Design – Tietokoneavusteinen suunnittelu
CityGML	City Geography Markup Language – Avoin kansainvälinen standardi 3D-kaupunkimallien tallentamiseen ja tiedonsiirtoon
DEM	Digital Elevation Model – Maaston korkeusmalli
DSM	Digital Surface Model – Pintamalli
DTM	Digital Terrain Model – Maastomalli
ELY-keskus	Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus
GIS	Geographic Information System – Paikkatietojärjestelmä
GLONASS	Globalnaya navigatsionnaya sputnikovaya sistema – Venäjän globaali paikannusjärjestelmä
GNSS	Global Navigation Satellite System – Globaali paikannusjärjestelmä
GPS	Global Positioning System – Yhdysvaltain globaali paikannusjärjestelmä
IMU	Inertial Measurement Unit – Mittausjärjestelmä, joka mittaa sensorin asentoa ja paikkaa
Inframalli	Infrarakenteen tietomalli. Yhteisesti sovitun inframallin tietomäärittelyn tietyn infrarakenteen ilmentymä.
Inframallintaminen	Ala, joka käsittelee infrarakenteiden mallintamista tietokonesovelluksilla sekä infratietojen kuvaamista ja tiedonsiirtoa tietokonesovelluksilla tulkittavasta muodosta
JHS	Julkisen hallinnon suositukset – JHS-suositukset koskevat valtion- ja kunnallishallinnon tietohallintoa. Sisällöltään suositus voi olla julkishallinnossa käytettäväksi tarkoitettu yhtenäinen menettelytapa, määrittely tai ohje.
LiDAR	Light Detection and Ranging – Laservalolla toimiva tutka
LOD	Level of Detail – CityGML:n standardin mukaiset tarkkuustasot (yksityiskohtaisuus), LOD0–LOD4. Tasojen tarkkuuksien kasvaessa kohteiden geometriset ja temaattiset yksityiskohdat lisääntyvät ja tällöin myös mallin tarkkuus kasvaa.
MLS	Mobile Laser Scanning – Ajoneuvolaserkeilaus
MML	Maanmittauslaitos
SPC	Statistical Process Control – Tilastollinen prosessinohjaus
TIN	Triangular Irregular Network – Epäsäännöllinen kolmioverkko
TLS	Terrestrial Laser Scanning – Maalaserkeilaus
UAV	Unmanned Aerial Vehicle – Miehitämätön lentoalus
YIV 2015	Yleiset inframallivaatimukset 2015

1. JOHDANTO

1.1 Tausta

Infra-alalla ollaan siirtymässä kohti inframallintamisen tehokasta hyödyntämistä hankkeen elinkaaren eri vaiheissa alkaen suunnittelusta jatkuen rakentamiseen ja edelleen kunnossapitoon. Inframallintamisen avulla infra-alan eri toimijat voivat merkittävästi parantaa toimintansa tuottavuutta, laatua ja kustannustehokkuutta. (InfraBIM-tiedotuslehti 2015)

Luotettavien lähtötietojen merkitys korostuu erityisesti inframallipohjaisessa hankkeessa (InfraBIM-tiedotuslehti 2015). Yksi tärkeimmistä lähtötiedoista on maastomalliaineisto. Maastomallin tuottamiseen tarvittavat tekniikat ovat laserkeilaus helikopterista tai lentokoneesta, ajoneuvolaserkeilaus, maalaserkeilaus, fotogrammetrinen mittaus ja maastokartoitus (Liikennevirasto 2011).

Maastomallin tuotantotekniikoista erityisesti laserkeilauksen osuus on viime aikoina lisääntynyt selvästi. Tähän on vaikuttanut muun muassa se, että laitteiden hinnat ovat laskeneet ja samalla niiden tekniikka on merkittävästi kehittynyt ja parantunut. Nykyiset laserkeilauslaitteistot ja -menetelmät tuottavat erittäin suuria ja tiheitä pistepilviaineistoja hyvinkin kustannustehokkaasti. Laserkeilauksen yleistyessä ja inframallintamisen osuuden kasvaessa on herännyt kysymys, että miten laserkeilausaineistoja voitaisiin hyödyntää nykyistä paremmin inframallipohjaisen hankkeen kaikissa eri vaiheissa.

1.2 Tavoitteet ja rajaukset

Diplomityön yhtenä päätavoitteena on selvittää, miten laserkeilausaineistoja voitaisiin hyödyntää nykyistä paremmin ja monipuolisemmin inframallintamisen yhteydessä. Tämä päätavoite jakautuu kahteen alatavoitteeseen. Ensimmäisenä alatavoitteena on selvittää laserkeilausaineiston erilaisia hyödyntämismahdollisuuksia inframallintamisen eri hankevaiheissa eli suunnittelussa, rakentamisessa ja kunnossapidossa. Toisena alatavoitteena on selvittää, mitä eri piirteitä, kuten kohteita tai muutoksia pistepilviaineistosta voitaisiin mahdollisesti irrottaa ja hyödyntää niiden sisältämää tietoa.

Toisena päätavoitteena on selvittää laserkeilausaineiston lopputuotteen eli maastomallin laadun varmentamista. Tähän pyritään löytämään erilaisia parannuksia ja kehittämisside-
oita. Koko tämän diplomityön tarkoituksena on tuottaa tausta-aineistoa tulevaan Tie- ja ratahankkeiden maastotietojen mittausohjeen päivittämiseen.

Tässä diplomityössä tarkastelut on rajattu koskemaan tie-, katu- ja ratahankkeita. Lisäksi rajausta on tehty niin, että maastomallin eri tuotantotavoista on tarkasteltu vain laserkeilaustekniikalla tuotettavia maastomalleja. Tutkimuksen näkökulma painottuu enemmän toiminnallisuuteen, eikä niinkään varsinaiseen teknologiaan. Pääpaino on laserkeilausaineiston hyödynnettävyydessä ja lopputuotteen laadun varmentamisessa.

1.3 Rakenne ja sisältö

Diplomityö aloitettiin perehtymällä aiheen mukaisiin kirjallisuusviitteisiin. Tämän niin sanotun teoriaosan jälkeen alkoi haastatteluiden suunnittelu. Tähän vaiheeseen kuului muun muassa haastattelukysymysten laatiminen ja haastateltavien asiantuntijoiden valitseminen. Tämän vaiheen jälkeen vuorossa oli haastatteluiden tekeminen. Haastattelut tehtiin pääosin kasvotusten. Haastattelujen jälkeen aineisto purettiin ja litteroitiin kirjalliseen muotoon. Lopuksi tehtiin kirjallisuusselvityksen ja haastatteluiden tuloksien yhteenvedo.

Työn rakenne on jäsennelty siten, että luvussa 1 käydään tiivistetysti läpi työn tausta sekä esitetään diplomityölle asetetut tavoitteet ja rajaukset. Luvun lopuksi esitetään työn rakenne ja sisältö.

Luku 2 koostuu kirjallisuusselvityksestä. Siinä on käsitelty laserkeilauksen periaatetta, sen eri menetelmiä, laserkeilauksen tuotoksena syntyvää pistepilviaineistoa ja tästä jalostettua lopputuotetta eli maastomallia. Lisäksi kirjallisuusselvityksessä on käsitelty ensin laadun varmentamista yksityiskohtaisemmin maastomallin osalta ja sen jälkeen laajemmin paikkatietoalan näkökulmasta. Näiden jälkeen on käsitelty laserkeilausaineiston hyödyntämistä infraan liittyvissä käyttökohteissa, vertailtu eri laserkeilausmenetelmiä ja tarkasteltu laserkeilaukseen liittyviä viimeaikaisia tutkimuksia. Luvun lopussa on käsitelty inframallintamista ja tarkasteltu nykyisiä mittaus- ja mallinnusohjeita.

Luvussa 3 käydään läpi tutkimuksessa käytetyt menetelmät ja aineisto.

Luvussa 4 käsitellään haastattelujen vastauksia laserkeilausaineiston hyödyntämisestä ja lopputuotteen eli maastomallin laadun varmentamisesta.

Luvussa 5 esitellään kirjallisuusselvityksen ja haastatteluiden yhteenvedon tuloksia.

Luvussa 6 esitellään työn yhteenvedo.

2. LASERKEILAUS JA INFRAMALLINUS

2.1 Laserkeilauksen periaate

Laserkeilausmenetelmä mahdollistaa monipuolisen ja nopean yksityiskohtaisen tiedon keruun ympäröivästä maailmasta. Laserkeilain on mittalaite, jolla voidaan mitata kohteita ilman, että niihin tarvitsee koskea. Tästä on suurta etua, kun joudutaan esimerkiksi mittaamaan kohteita, jotka ovat hankalasti saavutettavissa tai kohteiden mittaaminen on muuten vaarallista, kuten mittaukset vilkasliikenteisillä liikenneväylillä. Laserkeilauksen tuloksena saadaan mitattavasta kohteesta kolmiulotteinen näkymä, jota kutsutaan yleisesti pistepilveksi. Pistepilven jokaisella pisteellä on x-, y- ja z-koordinaatit ja näitä pisteitä voi olla yhdessä pistepilviaineistossa tuhansista jopa miljooniin pisteisiin. (Cronvall et al. 2012, s. 10)

Laserkeilain koostuu kolmesta eri osasta: 1) lasertykistä, 2) keilainosasta ja 3) ilmaisinosasta. Lasertykki tuottaa lasersäteen, jonka keilainosa poikkeuttaa. Tämän jälkeen ilmaisinososa tulkitsee vastaanotetun signaalin ja määrittää sen perusteella etäisyyden kohteeseen. Etäisyyden määrittäminen menetelmät voivat perustua laitetyypistä riippuen valon kulku-aikaan, vaihe-eroon, näiden yhdistelmään tai kolmiomittaukseen. (Cronvall et al. 2012, s. 10)

Laserkeilaimen niin kutsutusta nollapisteestä lähetetään liikkeelle lasersäde ja tämän säteen avulla suoritetaan mittaus kohteen ja laserkeilaimen välillä. Laserkeilaimissa, joiden mittaus perustuu valon kulku-aikaan, etäisyys mitataan aikana, jonka valosignaali kulkee laserkeilaimesta kohteeseen ja siitä takaisin. Koska valosignaalin eli lasersäteen lähtökulmat (vaaka- ja pystysuunnassa) ja matka ovat tiedossa, voidaan näiden tietojen perusteella laskea mitatuille pisteille koordinaatit. Tämän lisäksi tallennetaan jokaiselle pisteelle intensiteetti-arvo, joka pohjautuu paluusignaalin voimakkuuteen. (Cronvall et al. 2012, s. 10–11)

Intensiteetin tallentamisesta on hyötyä, koska sen pohjalta jokaiselle pisteelle määritetään sävyarvo. Tämä helpottaa työtä siinä vaiheessa, kun tehdään aineiston tulkintaa. Intensiteettiin vaikuttavia tekijöitä ovat muun muassa kohteen väri, materiaali, pinnan tasaisuus ja säteen osumiskulma. Esimerkiksi, jos mitattavan kohteen pinta on hyvin tasainen eli siinä ei juuri ole korkeuseroja, saadaan intensiteettitiedon avulla erottumaan pinnan mahdolliset kuviot. (Cronvall et al. 2012, s. 11)

Laserkeilainlaitteistoihin on usein liitetty mukaan lisävarusteeksi digitaalikamera tai useampia kameroita, joilla otetaan kuvia mittausten yhteydessä. Tämän lisäksi joihinkin laitteistoihin on integroitu lämpökameroita, maatumkaa ja mahdollisesti muita mittaus-sensoreita. (Hartikainen 2015) Digitaalikuvia voidaan liittää pistepilviaineistoon, jolloin pintoja saadaan teksturoitua luonnollisemman näköisiksi. Digitaalikuvien pohjalta voidaan laserpisteille määrittää lisäksi yksilölliset väriarvot. Väriarvot lisäävät myös pistepilvien havainnollisuutta. (Cronvall et al. 2012, s. 11)

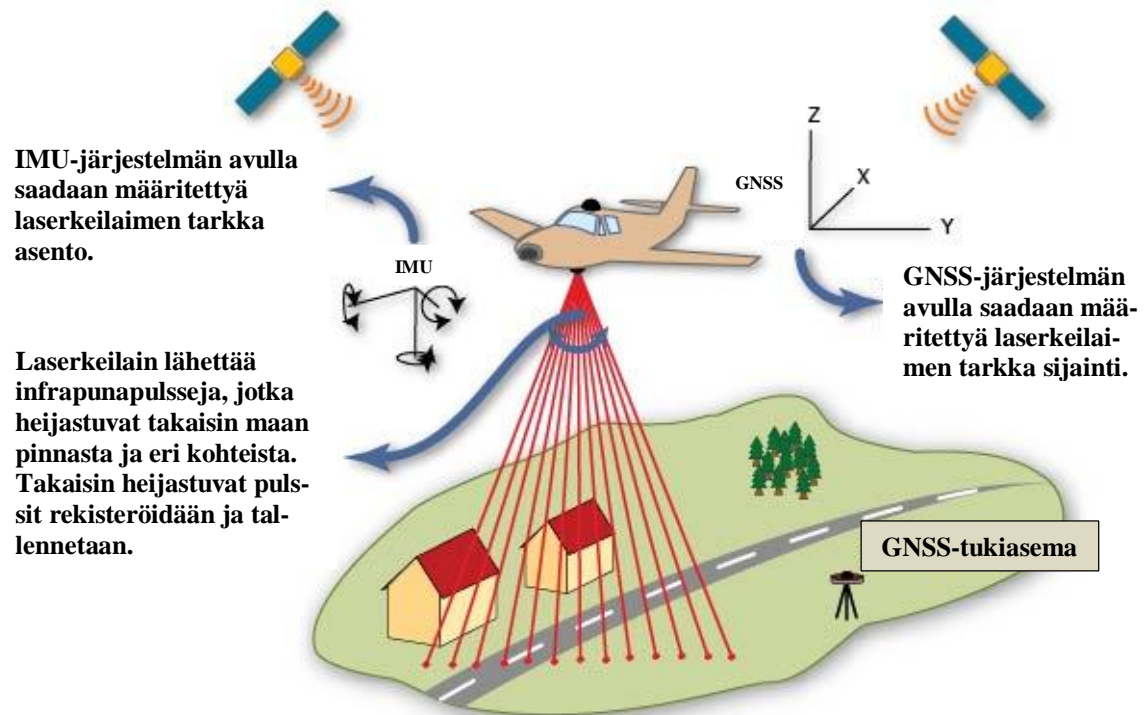
Laserkeilauksella suoritettavien mittausten tarkkuuteen vaikuttavat muun muassa erilaiset näkyvyyttä heikentävät asiat, kuten lumi, vesisade ja pöly (Cronvall et al. 2012, s. 11). Sen sijaan valaistusolosuhteilla ei ole merkitystä mittauksen kannalta, koska laserkeilain on niin sanottu aktiivinen sensori. Tällä tarkoitetaan sitä, että laserkeilain tuottaa itse sen energian, jonka se tarvitsee kohteen havaitsemiseen ja mittaamiseen. Tämä mahdollistaa mittaamisen tarvittaessa yöaikaankin. (Laaksonen & Vilhomaa 2011, s. 83) Mittaustuloksiin aiheutuu virheitä silloin, jos lasersäteet heijastuvat ennenaikaisesti pois, ne absorboituvat tai ne poikkeutuvat. Onnistuneeseen mittaukseen vaikuttavat mitattavan kohteen muoto, sen väri, pintamateriaali ja asento suhteessa laserkeilaimen. (Cronvall et al. 2012, s. 11)

2.1.1 Lentolaserkeilaus

Lentolaserkeilausta tehdään ilmasta helikopterista tai lentokoneesta (Cronvall et al. 2012, s. 13). Myös miehittämättömiin lentoaluksiin (Unmanned Aerial Vehicle, UAV) perustuvia laserkeilainjärjestelmiä on kehitetty (Hyypä et al. 2011). Lentolaserkeilauksella voidaan mallintaa muun muassa pinnanmuotoja, kasvillisuutta, kaupunkialueita, jäää ja infrastruktuuria. Lentolaserkeilauksesta (Airborne Laser Scanning, ALS) käytetään myös termiä ilmalaserkeilaus. Lisäksi lentolaserkeilauksen termin rinnalla käytetään usein lasertutka- eli LiDAR-termiä (Light Detection and Ranging). LiDAR-menetelmässä lasersädettä käytetään maanpinnan valaisemiseen ja fotodiodia takaisin-sirontasäteilyn rekisteröimiseen. Laserkeilausmenetelmään sisältyy lasersäteen paikantaminen ja suunnan määrittäminen. LiDAR-menetelmä ei välttämättä tarvitse näitä tietoja, vaan se voi toimia ilman niitä. Laserkeilaus käsitettä käytetään laajalti Euroopassa, kun taas LiDAR-käsite on yleisempi Pohjois-Amerikassa. (Holopainen et al. 2013, s. 11)

Kuvassa 1 esitetty lentolaserkeilausmenetelmän periaate on seuraava: kohteen ja laserkeilaimen välinen etäisyys mitataan keilaimen lähettämän pulssin kulkuajan perusteella, laserkeilain pyyhkäisee laserpulsseja lentosuuntaa vastaan kohtisuorassa suunnassa ja kun keilaimen asento sekä paikka ovat tarkasti tunnetut, mitattu etäisyys voidaan muuttaa korkeudeksi. Lasertutkan asento ja sijainti saadaan määritettyä inertia- (Inertial Measurement Unit, IMU) ja satelliittipaikannusjärjestelmän (Global Navigation Satellite System, GNSS) avulla. Jokaista laserpulsia vastaava etäisyys voidaan muuntaa x-, y- ja z-koordinaateiksi. Näin tulokseksi saadaan maaston tai kohteen korkeuspistetiedosto. (Holopainen et al. 2013)

GNSS-satelliittipaikannusjärjestelmän muodostavat nykyisin Yhdysvaltojen GPS (Global Positioning System) ja Venäjän GLONASS (Globalnaya navigatsionnaya sputnikovaya sistema) -järjestelmät. Tulevaisuudessa EU:n Galileo- ja Kiinan Compass-järjestelmät tulevat täydentämään sijainnin mittausta ja siten koko GNSS-satelliittipaikannusjärjestelmää. (Holopainen et al. 2013; Jaakkola 2015)



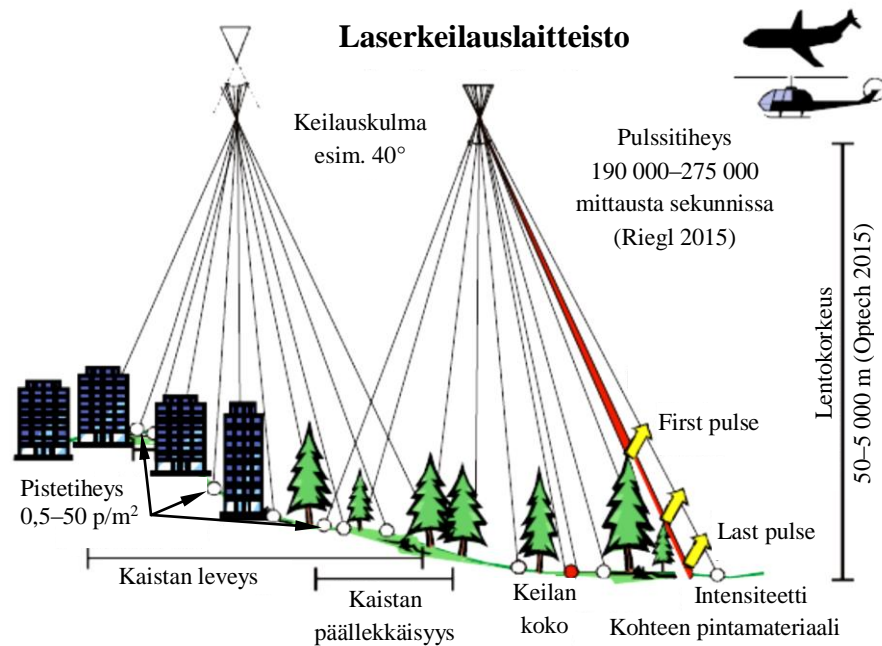
Kuva 1. Lentolaserkeilauksen periaate. (Geospatial Modeling & Visualization 2015, muokattu)

Cronvall et al. (2012) mukaan lentolaserkeilaukset suoritetaan yleensä 60–1 500 m:n korkeudesta. Vuonna 2015 laserkeilauslaitteistojen valmistaja Riegl ilmoittaa verkkosivuillaan, että sen lentolaserkeilaimien eri mallien suositeltavat lentokorkeudet vaihtelevat 475–4 700 m:n välillä (Riegl 2015). Toinen valmistaja Optech, ilmoittaa vastaavasti lentokorkeuksien vaihtelevan 50–5 000 m:n välillä (Optech 2015). Lentokorkeuteen vaikuttaa mittauksen kohde. Mittauksia varten laaditaan lentosuunnitelma, jossa on määritetty lennettävät lentolinjat. Nämä nauhamaiset linjat voivat olla jopa 200 m leveitä. Vierekkäiset lentolinjat suunnitellaan siten, että ne menevät hieman toistensa päälle. (Cronvall et al. 2012, s. 13)

Cronvall et al. (2012) mukaan laserkeilaimen pulssitiheys on 7 000–125 000 mittausta sekunnissa ja noin kolme vuotta myöhemmin, vuonna 2015 Riegl ilmoittaa verkkosivuillaan, että sen eri lentolaserkeilaimien pulssitiheydet ovat 190 000–275 000 mittausta sekunnissa. (Riegl 2015) Cronvall et al. (2012) mukaan tyypillisesti pistetiheys on 0,06–25 pistettä neliömetrillä (p/m^2), kun noin vuotta myöhemmin Holopainen et al. (2013)

mukaan pistetiheys olisikin 0,5–50 p/m². Tässä nähdään hyvin laserkeilaustekniikan nopea kehittyminen, kun esimerkiksi keilaimien pulssitiheydet ja keilaimien mahdollistamat pistetiheydet ovat lyhyessä ajassa jopa kaksinkertaistuneet.

Keilausaineiston pistetiheys määrittää sen, minkä kokoisia kohteita pistepilvestä on mahdollista määrittää ja havaita. Muun muassa paluukaikujen määrä ja aaltomuoto vaikuttavat yleisellä tasolla siihen, päästäkö esimerkiksi kasvillisuuden läpi "näkemään" asioita. (Hartikainen 2015) Mitä enemmän on pisteitä neliometrillä, sitä parempi on erotuskyky. Hyvä erotuskyky mahdollistaa yksittäisten kohteiden ominaisuuksien mittaamisen. Kuvassa 2 on esitetty lentolaserkeilauksen tyypillisimpiä parametreja. (Cronvall et al. 2012, s. 13)



Kuva 2. Lentolaserkeilauksen tyypillisimpiä parametreja. (Hyypä, Cronvall et al. 2012 mukaan, muokattu)

Laserkeilan tai -pulsin valaiseman alueen pinta-ala kasvaa lentokorkeuden kasvaessa (Pyysalo 2000, Holopainen et al. 2013, s. 15 mukaan). Niinpä sen koko maanpinnalla on suurempi kuin pelkkä piste (Cronvall et al. 2012, s. 13). Tyypillisesti keilan tai puls- sin leveys on maanpinnalla 0,1–3,8 m (Pyysalo 2000, Holopainen et al. 2013, s. 15 mu- kaan). Tästä seuraa, että pulssi voi mahdollisesti osua moniin eri kohteisiin. Useissa laserkeilaimissa on ominaisuus, jolla ne voivat vastaanottaa useamman kaiun yhdestä havainnosta. Tyypillisesti keilain tallentaa ensimmäisen kaiun, joka kuvaa lähinnä lai- tetta olevaa kohdetta ja viimeisen kaiun, joka kuvaa laitetta kauimpana sijaitsevaa koh- detta. Kuten kuvasta 2 nähdään, niin ensimmäinen kaiku (First pulse) voidaan saada esimerkiksi puun latvasta ja viimeinen kaiku (Last pulse) maanpinnasta. (Cronvall et al. 2012, s. 13)

Lentolaserkeilauksella voidaan päästä jopa alle 10 cm:n tarkkuuteen (Cronvall et al. 2012, s. 14). Esimerkiksi Leica ALS80-HP:lle ilmoitetut tarkkuudet ovat 500 m:n lentokorkeudelta ja 40° keilauskulmalla 6 cm korkeudessa (z) ja 7 cm tasossa (x, y). Vastaavasti 3 500 m:n lentokorkeudelta ja samalla 40° keilauskulmalla tarkkuudet ovat 14 cm korkeudessa ja 38 cm tasossa. (Leica 2015a) Tässä tulee esiin lentokorkeuden vaikutus tarkkuuteen. Tarkkuuteen vaikuttavat lisäksi muun muassa seuraavat tekijät (Cronvall et al. 2012, s. 14):

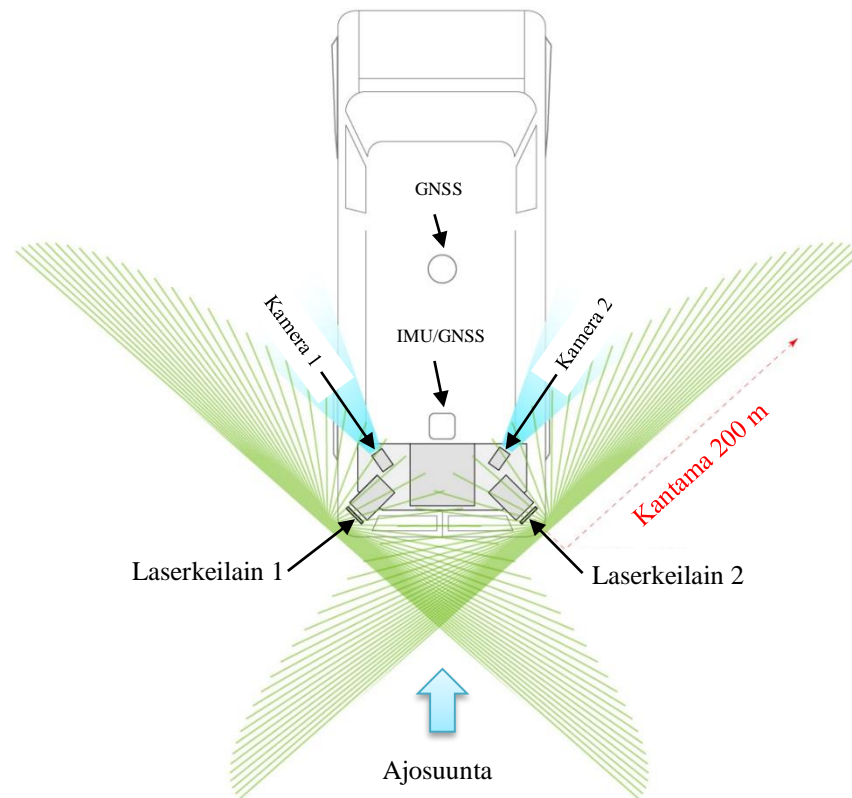
- lentokorkeus ja -nopeus
- pulssitiheys
- keilauskulma
- laserkeilan leviäminen
- sijainnin ja asennon määrittämisen tarkkuus
- mitattavan kohteen ominaisuudet

Eri valmistajien laserkeilaimien tarkkuuksia selvitettyä, haasteellista oli saada vertailukelpoista tietoa erilaisista teknisistä spesifikaatioista, koska jokainen valmistaja ilmoittaa niitä hieman omalla tavallaan. Alalle olisikin hyvä saada yhtenäinen käytäntö teknisten tietojen ilmoittamiseen.

Kuten aiemmin edellä jo mainittiin, laserkeilaimiin on usein yhdistetty digitaalikamera. Cronvall et al. (2012) mukaan myös lentolaserkeilaukseen yhdistetään usein kohteen digitaalikuvaukset. Keilauksen tuotoksena syntyy pistepilvi, josta tuotetaan haluttu malli. Usein näissä malleissa halutaan kuvata jo olemassa olevia kohteita tai piirteitä, kuten puita, siltoja ja taloja. Lentolaserkeilauksella tehtävän mittauksen paras ajankohta on kevät, mutta tarvittaessa keilausta voidaan tehdä myös syksyllä. Ajankohdat ovat otollisimmat, koska silloin puissa ei ole lehtiä, aluskasvillisuutta on vähän, eikä lunta ole maassa. Osa laserpulsseista pääsee tosin kulkeutumaan puuston latvustojen aukkojen läpi, joten maanpinnan mittaaminen onnistuu myös peitteisiltä alueilta. Lentolaserkeilaamalla mitataan usein maanpintaa ja siinä olevia kohteita. (Cronvall et al. 2012, s. 14)

2.1.2 Ajoneuvolaserkeilaus

Laserkeilausta voidaan suorittaa myös liikkeellä olevasta ajoneuvosta. Menetelmästä käytetään termiä ajoneuvolaserkeilaus tai mobiililaserkeilaus (Mobile Laser Scanning, MLS). (Cronvall et al. 2012, s. 14) Ajoneuvolaserkeilauksella suoritettava mittaus perustuu yhteen tai useampaan laserkeilaimiin sekä GNSS–Inertia-paikannuslaitteistoon. Myös digitaalisia kameroita ja videokameroita voidaan yhdistää keilauslaitteistoon. (Cronvall et al. 2012, s. 14) Seuraavalla sivulla kuvassa 3 on esitetty yleisellä tasolla ajoneuvolaserkeilausjärjestelmää.



Kuva 3. Ajoneuvolaserkeilausjärjestelmä. (The Sanborn Map Co. 2015, muokattu)

Elberink et al. (2013) mukaan ajoneuvolaserkeilausjärjestelmän tuottamaa tietoa voidaan luonnehtia seuraavilla teknisillä parametreilla: a) pistetiheys välillä 100–1 000 p/m² 10 m:n matkalla, b) etäisyysmittauksen tarkkuus 2–5 cm ja c) toiminnallinen keilausalue 1–100 m. Keilausten tuottaman datan määrä on valtava (asteikolla 0,25–1 M pistettä sekunnissa) ja niinpä tällaisen aineiston manuaalinen käsittely on hyvin aikaa vievää. Siksi tarvitaan automaattisia menetelmiä vähentämään manuaalisen työn määrää, jotta tarkkojen 3D-mallien tuottaminen olisi kustannustehokasta. (Elberink et al. 2013, s. 51)

Holopainen et al. (2013) mukaan ajoneuvolaserkeilausta voidaan suorittaa myös niin, että välillä pysähdytään ja keilataan (stop-and-go-menetelmä) tai keilataan jatkuvasti liikkeellä ollessa. Stop-and-go-menetelmä vastaa perinteistä kolmijalan päältä suoritettavaa maalaserkeilausta. (Holopainen et al. 2013, s. 30)

Inertia-laitteiston avulla pystytään eliminoimaan ajoneuvon ajon aikana tapahtuvat kallistumiset ja niistä johtuvat virheet. Näin kallistuksilla ei ole vaikutusta yksittäisen pisteen x-, y- ja z-koordinaattien tarkkuuteen. Ajoneuvolaserkeilauslaitteiston kaikkien eri laitteiden keskinäiset sijainnit suhteessa inertialaitteiden keskipisteeseen on määritetty erittäin tarkasti. Laserkeilaimet sijoitetaan ajoneuvoon mahdollisimman ylös, jotta esimerkiksi tieluiskien alareunat saataisiin keilattua ja siten mitattua. (Cronvall et al. 2012, s. 14) Seuraavalla sivulla kuvassa 4 on esitetty ajoneuvolaserkeilauslaitteiston eri osat.



Kuva 4. Ajoneuvolaserkeilauslaitteiston eri osat. (Hyyppä ja Kukko 2010, muokattu)

2.1.3 Maalaserkeilaus

Maalaserkeilaimella (Terrestrial Laser Scanning, TLS) tarkoitetaan useimmiten kolmijalalle sijoitettua laserkeilainta (Holopainen et al. 2013, s. 30). Maalaserkeilausjärjestelmä sisältää seuraavat osat: 1) keilain, 2) pakkokeskitysalusta, 3) jalusta, 4) virtalähde (akku tai verkkovirta) ja 5) tietokone. Joissain keilaimissa on sisäinen muisti, johon voidaan tallentaa tietoja jo mittaustapahtuman aikana. Tällöin ei tarvita mittauspaikalla tietokonetta. (Cronvall et al. 2012, s. 16)

Maalaserkeilauksen toimintaperiaate perustuu siihen, että keilain mittaa ympäristöstään kohteiden kolmiulotteiset koordinaatit käyttäen suunnattua laseretäisyysmittausta. Tällä tarkoitetaan sitä, että laserkeilain mittaa suunnan sekä etäisyyden kohteeseen ja näiden tietojen perusteella voidaan laskea kohdepisteen kolmiulotteinen sijainti. (Holopainen et al. 2013, s. 30) Maalaserkeilain mittaa pisteitä säännölliseen ruudukkoon. Lähellä laserkeilainta pisteitä saadaan tiheämmin ja kauempana ne harvenevat. (Cronvall et al. 2012, s. 16) Maalaserkeilaimilla on mahdollista saavuttaa jopa miljoonan pisteen mittausnopeus (1 000 000 p/s) (Leica 2015b).

Maalaserkeilaimien mittausetäisyydet vaihtelevat laitteesta riippuen yhdestä metristä aina useisiin satoihin metreihin. Parhaimmillaan keilainten mittaustarkkuus on alle 1 cm. Keilaimen tekniset ominaisuudet määrittävät pitkälti sen, millaiseen käyttötarkoitukseen se soveltuu parhaiten. Soveltuvuuden arviointia voidaan tehdä esimerkiksi seuraavien tekijöiden perusteella: mittausetäisyys, kulmaresoluutio, lasersäteen divergenssi (säteen hajoamiskulma) ja keilauskulma. (Cronvall et al. 2012, s. 16) Seuraavalla sivulla kuvassa 5 on esimerkki maalaserkeilaimesta ja sen tuottamasta pistepilvestä.



Kuva 5. Esimerkki maalaserkeilaimesta ja sen tuottamasta pistepilvestä. (rudi.net 2015)

Mittauskohteesta riippuen mittauspisteitä tarvitaan useita, koska laserkeilainta on välillä siirrettävä sopivampiin paikkoihin. Laitteen siirtelyä tarvitaan siksi, että kohde tulisi mitattua joka puolelta, eikä mittaukseen jäisi katvealueita. Maalaserkeilain käyttää omaa sisäistä koordinaatistoaan, johon se tallentaa mitattavat pisteet. (Cronvall et al. 2012, s. 16–17) Yleensä keilausasemien tiedot ”sidotaan” ensin toisiinsa ja keskenään samaan koordinaatistoon, jonka jälkeen kokonaisuus muunnetaan globaaliin järjestelmään. On myös hieman päällekkäisiä tapoja, eli voidaan tehdä samanaikaisesti lokaalia ja globaalia tasoitusta. (Hartikainen 2015) Pistepilvien ”sitomiseen” käytetään apuna tähyksiä ja takymetrimittauksia. Pallonmuotoiset tähykset sijoitetaan mitattavalle alueelle niin, että ne tulevat mitatuiksi useammasta eri paikasta. Tämän jälkeen takymetrillä mitataan tähysten keskipisteet, jolloin pistepilvet voidaan muuntaa haluttuun koordinaatistoon. (Cronvall et al. 2012, s. 16–17)

2.1.4 Teollisuuslaserkeilaus

Teollisuuslaserkeilain on tarkoitettu erityisesti pienten kohteiden erittäin tarkkaan mittaamiseen. Periaatteessa teollisuuslaserkeilain vastaa maalaserkeilainta. (Cronvall et al. 2012, s. 17) Teollisuuslaserkeilaimesta käytetään myös nimityksiä lähilaserkeilain tai 3D-esineskanneri. Teollisuuslaserkeilaimen toiminta perustuu optiseen kolmiomittaukseen, jossa mitattavaa kohdetta pyyhkäistään laserjuovalla. Kohteesta takaisin heijastuva valo kulkee linssin lävitse sensorin pinnalle, jossa sen sijainti rekisteröidään. Kohteen etäisyys lasketaan valonlähteen ja sensorin välisen etäisyyden sekä havaittavan valon saapumiskulman perusteella. (Ahlavuo et al. 2009)

Teollisuuskeilaimen maksimimittaustäisyys on alle 30 m ja sillä voidaan päästä jopa alle 1 mm:n mittaustarkkuuteen. Nämä laitteet soveltuvat esimerkiksi teollisuuden pienten objektien mittaamiseen, lääketieteen tarpeisiin ja arkeologian sovelluksiin. Myös monilla muilla aloilla teollisuuslaserkeilauksella voidaan seurata esimerkiksi erilaisten pintojen ja muotojen muutoksia. (Cronvall et al. 2012, s. 17)

2.2 Pistepilviaineisto

Laserkeilauksen tuotoksena saadaan pistepilviaineisto. Keilausta tehdään yleensä siksi, että jokin mitattava kohde halutaan mallintaa. Tässä yhteydessä mallinnuksella tarkoitetaan sitä, että mitattu kohde mallinnetaan kolmiulotteiseksi malliksi. Ne voivat olla matemaattisia malleja (esimerkiksi taso, sylinteri) tai luonnollisia malleja (esimerkiksi maastomalli). (Cronvall et al. 2012, s. 22)

Hyvin usein mallit siirretään jatkokäsittelyä varten suunnittelujärjestelmiin, kuten CAD-ohjelmistoihin. Myös mallinnusohjelmissa on suunnittelussa tarvittavia toiminnallisuuksia eli kohteita olisi mahdollista suunnitella suoraan pistepilveen. Vaihtoehtoisesti mitatut pistepilvet voidaan myös viedä suoraan suunnitteluohjelmiin erilaisten lisämoduulien avulla. (Cronvall et al. 2012, s. 22)

Mallinnus voidaan tehdä pistepilven avulla. Jotta mallinnuksen pohjana oleva pistepilvi olisi riittävän laadukas, on huomioitava seuraavat tärkeät laatuksiteerit: 1) pistepilven hajonta ja intensiteetti, 2) pistepilven tiheys ja 3) pistepilvien yhdistämisen laatu. (Cronvall et al. 2012, s. 19) Kuvassa 6 on esimerkki tieympäristön pistepilviaineistosta.



Kuva 6. Tieympäristön pistepilviaineistoa. (IGI mbH 2015)

Pistepilven hajonta ja intensiteetti

Yksi tärkeimmistä laatuun vaikuttavista tekijöistä on mitattujen pisteiden hajonta (Cronvall et al. 2012, s. 19). Pisteiden hajonnalla tarkoitetaan tässä yhteydessä sitä, että joidenkin mittauskohteiden materiaalit voivat aiheuttaa virhettä johtuen niiden pintojen takaisinsironnan voimakkuudesta. Tästä seuraa yleensä se, että virheellisen etäisyysmittauksen vuoksi mitattavan kohteen sijainnille saadaan väärää tietoa. (Hyyppä ja Hyyppä 2003, Simola 2014, s. 16 mukaan) Myös mittaussäteen osumiskulmalla kohteeseen on vaikutusta tähän seikkaan (Cronvall et al. 2012, s. 19).

Lisäksi hajontaan vaikuttaa myös mittausmatka. Kun matka kohteelta mittalaitteeseen kasvaa, niin palaavan signaalin voimakkuus heikkenee. Mittaussignaali palautuu eri tavalla esimerkiksi rapatusta seinästä kuin maalatusta pinnasta. Kohteiden kaarevuudella voi myös olla vaikutusta paluusignaalin voimakkuuteen. (Cronvall et al. 2012, s. 19) Lisäksi myös vaaleilla ja tummilla pinnoilla voi olla vaikutusta etäisyysmittauksen tarkkuuteen. Tästä voi mahdollisesti seurata se, että vain osa mitattavasta kohteesta tulee havaittua ja siten mitattua. (Hyyppä ja Hyyppä 2003, Simola 2014, s. 16 mukaan)

Kuten jo aiemmin edellä mainittiin, muutamat laserkeilaimet voivat tallentaa pisteen koordinaattien lisäksi myös paluusignaalin voimakkuuden eli intensiteetin. Sitä voidaan visualisoida esimerkiksi näyttöruudulla jokaisen pisteen kohdalla värierona tai harmaasävyyn erona. Intensiteettiä voidaan käyttää hyväksi, kun halutaan erottaa tasomaiselta pinnalta tekstuuria, kuten kuvioita tai tekstejä. Toiset keilaimet puolestaan esittävät näyttöruudulla sävyeroja matkan funktiona. Tällöin tasomaiset kohteet näyttäytyvät katsojalle samanvärisinä, eikä esimerkiksi tekstuuria pysty erottamaan. (Cronvall et al. 2012, s. 19)

Käytäntö on osoittanut, että värieron käyttö on monipuolisempi ja miellyttävämpi tapa. Laserkeilaimen sisäisellä kameralla voidaan jokaiselle pisteelle määrittää oikea väri. Toinen tapa on liittää ulkoisella kameralla kuvatun valokuvan avulla oikeat värit pistepilven pisteille. (Cronvall et al. 2012, s. 19)

Pistepilven tiheys

Pistepilviaineistoja tuotetaan yleensä jatkokäsittelyä varten, joita käytetään tietyn kohteen mallintamisessa. Pistepilven pisteiden keskinäisellä välimatkalla on vaikutusta mallintamisen laatuun. Yhtenä sääntönä voidaan pitää sitä, että mitä tiheämpi on mitattu pistepilvi, niin sitä tarkemmin pystytään mallintamaan erilaisia kohteita, kuten putkistoja, reunoja ja muita vastaavia kohteita. Tiheästä pistepilvestä ei ole paljon hyötyä, jos pistepilven sisäinen tarkkuus on huono. (Cronvall et al. 2012, s. 19)

Pistepilvien yhdistämisen laatu

Useita mitattuja pistepilviä voidaan yhdistää toisiinsa muun muassa pistepilvien yhteisten alueiden avulla. Tämän menetelmän käyttäminen vaatii sen, että kahdessa keskenään yhdistettävässä pistepilvessä on oltava ainakin kolmasosa yhteistä peittoa. Tällä menetelmällä päästään 5–10 mm:n yhdistämistarkkuuteen. Pistepilviä voidaan yhdistää myös käyttämällä yhteisiä mallinnettuja kohteita. Kahdessa erikseen mitatussa pistepilvessä mallinnetaan sellaisia yhteisiä kohteita, jotka selkeästi erottuvat pistepilvestä, kuten erilaiset tasot tai rakennuksen kulmat. Näille annetaan koodit ja niiden avulla suoritetaan pistepilvien yhdistäminen. (Cronvall et al. 2012, s. 19)

Pistepilven jalostusaste

Karkean jaottelun mukaan pistepilvien eri jalostusasteet voidaan kuvata seuraavasti: 1) raakadata, 2) raakadastasta jalostettu pistepilvi ja 3) jalostetusta pistepilvestä tuotettu malli. *Pistepilven raakadatalalla* tarkoitetaan laserkeilaimen tuottamaa käsittelemätöntä dataa (Glennie et al. 2013). Kuten jo aiemmin edellä mainittiin, niin pisteitä voi olla yhdessä pistepilviaineistossa tuhansista jopa miljooniin pisteisiin (Cronvall et al. 2012, s. 10). Joissain tapauksissa jo pelkkä pistepilven raakadata voisi olla sellaisenaan käyttökelpoista aineistoa kohteiden esittämiseen.

Raakadastasta jalostetulla pistepilvellä tarkoitetaan tässä yhteydessä sitä, että pistepilvestä suodatetaan pois ylimääräisiä pisteitä. Ahlavuo et al. (2009) mukaan tällainen pisteiden tiheyksien harventaminen on mahdollista ilman, että esimerkiksi jonkin kohteen muoto siitä kärsii. Pistepilviaineiston suodatukseen kuuluu myös kohteeseen kuulumattomien pisteiden rajaus pois käsiteltävästä aineistosta. Suodatuksen tarkoituksena on vähentää käsiteltävän pistepilviaineiston pisteiden määrää mahdollisimman pieneksi, jotta sen käsittely olisi joustavaa ja sujuvaa. (Ahlavuo et al. 2009)

Jalostetusta pistepilvestä tuotetulla mallilla tarkoitetaan tässä yhteydessä sitä, että jalostetusta pistepilviaineistosta muodostetaan esimerkiksi maastomalli. Vektoroinnin avulla maastomalliin saadaan muodostettua muun muassa tien rakenteet, sillat ja muu rakennettu ympäristö. Myös korkeuskäyrät on mahdollista muodostaa vektoroinnin avulla esimerkiksi melulaskennoissa käytettäviin maastomalleihin. (Tiehallinto 2009) Liitteessä 1 on esimerkkejä erilaisista pistepilven jalostusasteista ja niiden yhdistelmistä.

Sijaintitarkkuus ja yksityiskohtaisuudentaso

Seuraavalla sivulla käydään läpi pistepilvien sijaintitarkkuutta ja yksityiskohtaisuuden tasoja. Taulukossa 1 on esitetty erilaisia infraan liittyviä käyttökohteita sekä niiden vaatimia tarkkuuksia ja näiltä edellytettäviä pistetiheyksiä. Luokittelu on tehty ajoneuvolaserkeilauksen näkökulmasta. Taulukosta saa hyvän yleiskäsityksen ja kuvan siitä, missä eri käyttökohteissa vaaditaan minkäkinlaista tarkkuutta ja millaista pistetiheyttä se edellyttää.

Tässä kohtaa on kuitenkin syytä huomioida, että taulukossa esitetyt tarkkuudet ja pistetiheydet ovat vain ehdotuksia. Aina, kun ollaan suunnittelemassa jotakin hanketta, on noudatettava juuri kyseiseen projektiin parhaiten soveltuvia tarkkuus- ja pistetiheysvaatimuksia.

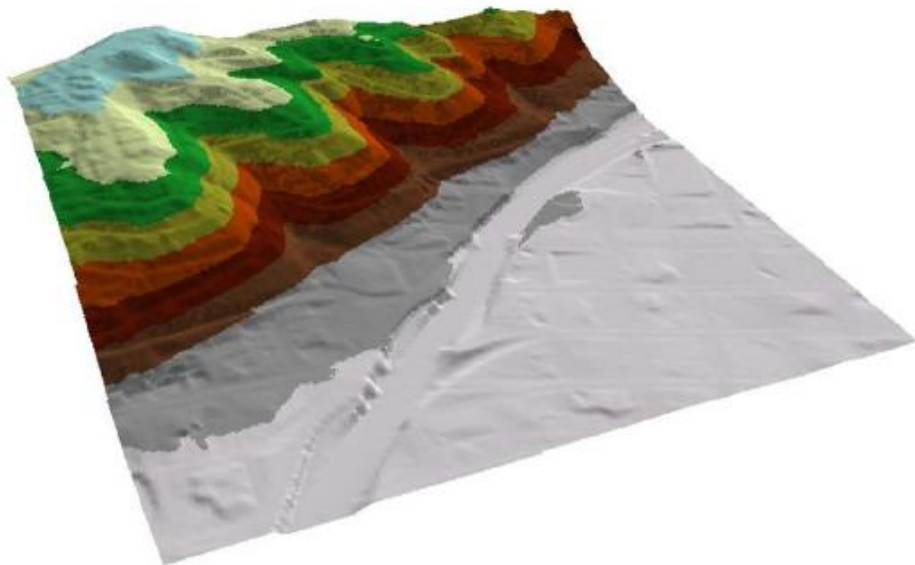
Taulukko 1. Käyttökohteet sekä ehdotetut tarkkuudet ja pistetiheydet ajoneuvolaserkeilauksen näkökulmasta. (Glennie et al. 2013, muokattu)

TARKKUUS	Suuri < 0,05 m	Keskitaso 0,05–0,20 m	Matala > 0,20 m
TIHEYS <i>Erinomainen</i> > 100 p/m ²	<ul style="list-style-type: none"> • Insinöörimittaukset • Maastomalli • Rakentamisen automaatio ja koneohjaus • Alikulkukorkeudet • Päällysteen analysointi • Kuivatus- ja tulva-analyysit • 3D-suunnittelu • Rakentamisen laadunvalvonta • As-built- ja korjauksien dokumentointi • Rakenteiden tarkastukset 	<ul style="list-style-type: none"> • Rikos- ja onnettomuustutkinta • Historialliset kohteet • Voimajohtolinjojen raivaukset 	<ul style="list-style-type: none"> • Ajoradan kunnan arviointi yleisellä tasolla
Keskitaso 30–100 p/m ²	<ul style="list-style-type: none"> • Epävakaat rinteet • Maanvyörymien arviointi 	<ul style="list-style-type: none"> • Karttoitus ja mittaus • Kuljettajan avustus • Autonominen ohjaus • Automaattinen tai puoliautomaattinen piirteiden tunnistaminen • Turvallisuus • Ympäristötutkimukset 	<ul style="list-style-type: none"> • Omaisuudenhoito • Inventointikarttoitus • Virtuaalimatkailu
Karkea < 30 p/m ²	<ul style="list-style-type: none"> • Määrien laskenta, esimerkiksi pinta-alat ja tilavuudet • Luontokarttoitus 	<ul style="list-style-type: none"> • Kasvillisuuden hoito 	<ul style="list-style-type: none"> • Pelastustoiminnan karttoitus • Suunnittelu • Maankäyttö ja kaavoitus • Kaupunkisuunnittelu • Liikenneuuhkat

Tarkkuuksista on kerrottu enemmän luvuissa 2.1.1–2.1.4

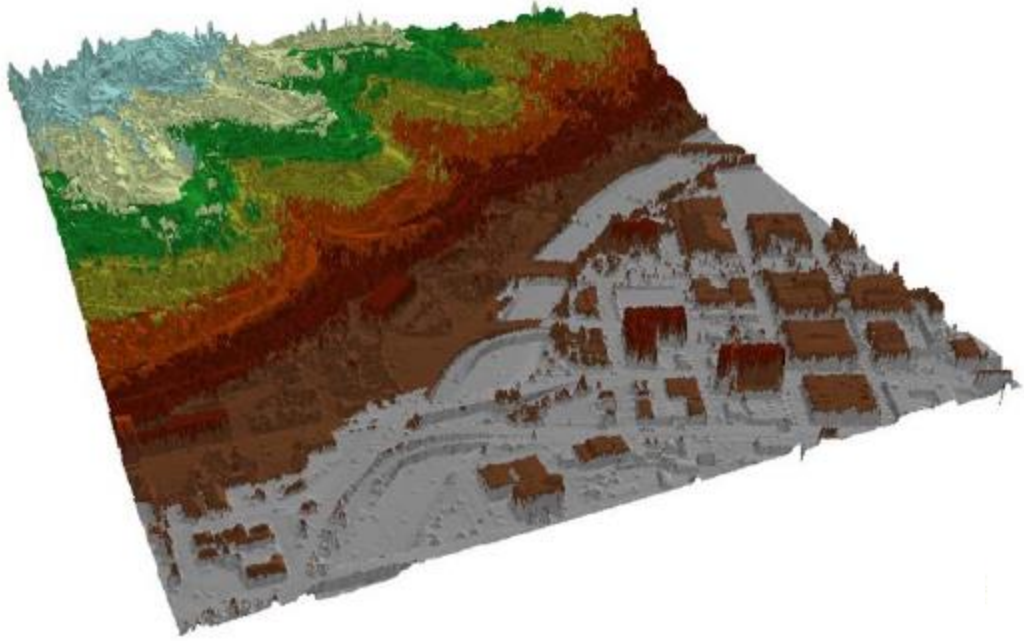
2.3 Pistepilviaineistosta jalostettu lopputuote

Kajasen ja Muukkosen (2009) mukaan maastomallilla tai pintamallilla tarkoitetaan yleisesti digitaaliseen muotoon luotua kolmiulotteista mallia maaston pinnan muodoista (Digital Terrain Model, DTM). Malli kuvaa aineiston määräämällä tarkkuudella maanpinnan korkeutta ja mahdollisesti myös sen erilaisia ominaisuuksia. Jos malli kuvaa vain pinnan korkeuseroja, kutsutaan sitä korkeusmalliksi (Digital Elevation Model, DEM). (Kajanen ja Muukkonen 2009, s. 41) Kuvassa 7 on esimerkki korkeusmallista. Yleensä korkeusmalli tallennetaan tietojärjestelmään tasavälisenä hilana tai epäsäännöllisenä kolmioverkkona (Triangular Irregular Network, TIN) (Paikkatietokeskus, FGI 2015). Korkeusmallia voidaan käyttää korkeuskäyrien, profiilien ja poikkileikkausten määrittämiseen. Myös erilaisten kaltevuus- ja virtausanalyysien tekeminen korkeusmallin avulla on mahdollista. (Kajanen ja Muukkonen 2009, s. 41)



Kuva 7. Korkeusmalli (Digital Elevation Model, DEM). (Duh 2015, muokattu)

Mallia, jossa kuvataan erilaiset maanpäälliset rakenteet, rakennukset ja mahdollisesti kasvillisuus, kutsutaan pintamalliksi (Digital Surface Model, DSM) (Kajanen ja Muukkonen 2009, s. 41). Kuvassa 8 on esimerkki pintamallista. Pintamalli kuvaa maaston ylimmälle korkeustasolle asetettua pintaa. Näin ollen se sisältää maanpinnan korkeuksia ainoastaan avomaalla ja muilla alueilla pinta noudattaa esimerkiksi metsän latvustoa ja rakennusten kattoja. (Paikkatietokeskus, FGI 2015) Pintamallia käytetään erilaisen suunnittelun ja visualisoinnin työkaluna (Kajanen ja Muukkonen 2009, s. 41). Näitä edellä mainittuja perustuotteita hyödynnetään laajalti useilla eri aloilla, kuten rakennustekniikassa sekä rakennetun ympäristön mittauksessa ja seurannassa (Holopainen et al. 2013, s. 13).



Kuva 8. Pintamalli (*Digital Surface Model, DSM*). (Duh 2015, muokattu)

Lentolaserkeilausmenetelmässä maastomalli tuotetaan keilausaineiston pistepilven, intensiteettitietojen ja ortokuva-aineiston tulkinnalla. Epävarmat kohteet ja pinnat on kartoitettava maastossa takymetrillä. Ajoneuvo- ja maalaserkeilausmenetelmät tuottavat erittäin tiheää pistepilviaineistoa, joten maastomalli voidaan tuottaa suoraan pistepilven ja intensiteettikuvien tulkinnalla. Rajoitteena on tosin se, että luotettavaa mallia voidaan tuottaa varsin kapealta vyöhykkeeltä. Yleispiirteistä maastomallia tuotetaan lentolaserkeilauksella. Mittaus suoritetaan pistepilven tulkintana ja mittauksena. (Liikennevirasto 2011) Tänä päivänä yleispiirteisen maastomallin tuottamiseen käytetään hyvin yleisesti Maanmittauslaitoksen (MML) laserkeilausaineistoa (Mäkinen 2015).

Tarkka maastomalli

Tarkkaa maastomallia käytetään tie-, rata- ja rakennussuunnittelussa. Maastomalli muodostetaan luokitelluista taiteviivoista ja hajapisteistä. Näiden avulla tuotetaan pintamallit maanpinnalle ja kallionpinnalle. Maanpinnan pintatunnuksena käytetään lukua 1 ja kallionpinnan tunnuksena lukua 2. Maastomalliin kuuluu lisäksi myös kartoitustietoja, mutta niitä ei käytetä pintamallin muodostamiseen. Kartoituspinnan pintatunnuksena käytetään lukua 9. (Liikennevirasto 2011)

Malliin kuuluvia kartoitustietoja ovat maanpäälliset tai maanalaiset rakenteet sekä lisäksi maanpinnalla olevat kuviorajat, joita ei ole mitattu pintaa pitkin. Maanalaisia kartoitustietoja ovat esimerkiksi tunnelit. Maanpinta, kallionpinnan maanpinnalla olevat osat ja pintoihin kuulumattomat rakenteet kartoitetaan mittaamalla. Alle viisi metriä leveiden

ojien ja purojen pohjat sisältyvät myös maastomalliin. Mitattavat kohteet jaotellaan viivamaisiin taiteviivoihin, pistemäisiin kohteisiin (maanpinnan ja kallion hajapisteet) ja kartoituskohteisiin. (Liikennevirasto 2011, s. 15)

Yleispiirteinen maastomalli

Yleissuunnittelussa käytettävä yleispiirteinen maastomalli eli niin sanottu likimalli muodostuu pinnoista ja pintoihin kuulumattomista kartoitustiedoista. Kartoitustiedoilla tarkoitetaan maanpäällisiä rakenteita ja maanpinnalla olevia kuviorajoja, joita ei ole mitattu pintaa pitkin. Mittaamalla kartoitetaan maanpinta, kallionpinnan maanpinnalla olevat osat sekä pintoihin kuulumattomat rakenteet. Jaottelu mitattavien kohteiden osalta on seuraava: 1) viivamaiset taiteviivat, 2) pistemäiset kohteet (maanpinnan ja kallion hajapisteet) ja 3) kartoituskohteet. (Liikennevirasto 2011, s. 23) Yleissuunnitelmavaiheessa käytetty likimalli voi myös perustua MML:n laserkeilausaineistoon tai laserkeilausdatan pohjalta tulkittuun ja maastomittauksin täydennettyyn malliin (Janhunen et al. 2015, s. 14).

2.4 Maastomallin laadun varmentaminen

Toimittajan tekemä laadunvarmistus

Maastomalliaineiston toimittaja tekee tuottamallensa aineistolle tarkastuksen, jolla varmistetaan aineiston toimivuus ja muodolliset vaatimukset. Näille ei sallita poikkeamia. Tarkastus perustuu toimittajan omaan laatujärjestelmään. Maastomalliaineiston tulee täyttää seuraavat vaatimukset (Liikennevirasto 2011, s. 22):

1. ei saa olla toisiaan leikkaavia taiteviivoja 1- ja 2-pinnalla
2. koodi-pintatunnus yhdistelmät vastaavat toisiaan
3. käytetyt koodit ovat koodilistauksen mukaisia (ei koske likimallia)
4. aineistossa ei ole karkeita virheitä (esimerkiksi 0-korkeudet tai negatiiviset korkeudet)
5. taiteviivoissa ei ole yli 10 m:n pistevälejä (likimallin yhteydessä ei yli 20 m:n pistevälejä)
6. aineiston kolmiointi onnistuu, eikä kolmiointiin jää reikiä käytettäessä maksimissaan 20 m:n kolmionsivua (likimallin yhteydessä max. 40 m:n kolmionsivu)

Tilaaajan tekemä aineiston tarkastus

Maastomalliaineiston toimittaja pyytää tilaajalta maastomallille tarkastuksen. Nykyisen voimassaolevan mittausohjeen (Tie- ja ratahankkeiden maastotiedot, Mittausohje, Liikenneviraston ohjeita 18/2011) mukaan tilaaja varmistaa näytetarkastuksen avulla aineiston geometrisen ja temaattisen tarkkuuden sekä täydellisyyden. Tarkastusmenettely on kuvattu yksityiskohtaisesti ohjeen liitteessä 7 (Maastotietojen näytetarkastusohje). (Liikennevirasto 2011, s. 22)

2.5 Laadunohjaus ja -varmistus paikkatietoalalla

JHS-suositukset

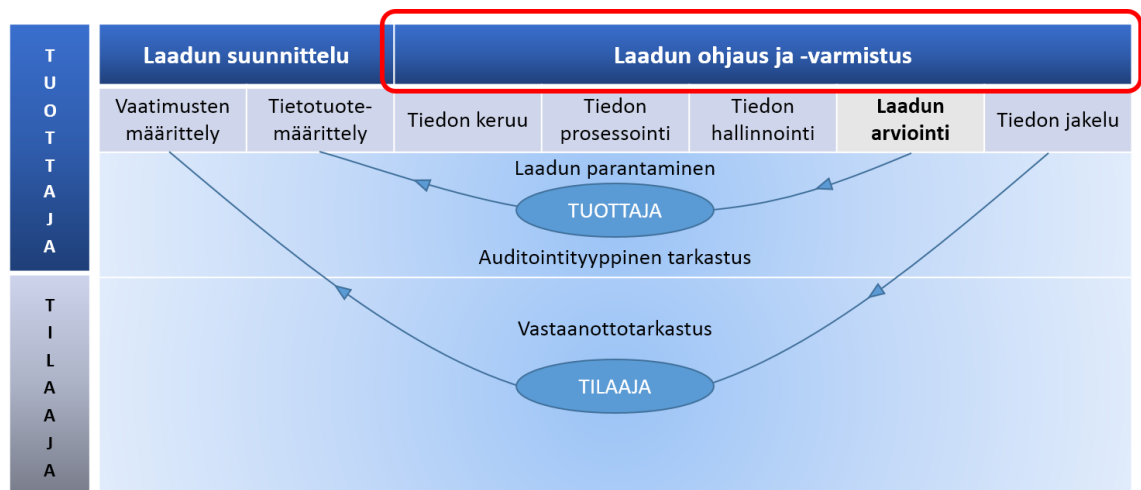
JHS-suositukset koskevat valtion- ja kunnallishallinnon tietohallintoa. Sisällöltään suositus voi olla julkishallinnossa käytettäväksi tarkoitettu yhtenäinen menettelytapa, määrittely tai ohje. JHS-suosituksien tavoitteena on muun muassa parantaa tietojärjestelmien ja niiden tietojen yhteen toimivuutta, luoda edellytykset toimintojen kehittämiseksi ja tehostaa olemassa olevan tiedon hyödyntämistä. Suositukset hyväksyy julkisen hallinnon tietohallinnon neuvottelukunta JUHTA. (JUHTA 2015)

JHS 160, Paikkatiedon laadunhallinta

Tässä paikkatietoalalle tehdyssä suosituksessa on määritelty alan kansainvälisiin standardeihin perustuva paikkatiedon laadunhallinnan ja arviointimenettelyn viitekehys. Suosituksessa on käsitelty keskeiset kokonaisuudet, kuten paikkatiedon laadun mittaaminen, arviointi ja laatutulosten raportointi. Suositus on tarkoitettu kaikille paikkatiedon tuottajille, joiden tehtävänä on arvioida aineistonsa laatua asiakkaan vaatimusten mukaisesti ja raportoida saadut laatutulokset. Lisäksi suositusta voidaan käyttää apuna, kun tuottaja ja asiakas määrittelevät yhdessä paikkatiedon laatuvaatimuksia. (JHS 160, Paikkatiedon laadunhallinta 2006)

Paikkatiedon laadunhallinnan prosessi

Laadunhallinnan keskeisenä tarkoituksena on ohjata organisaation toimintaa siten, että se voi tuottaa vaatimusten mukaisia aineistoja tehokkaasti ja kannattavasti. Laadun tarkastelussa huomiota voidaan kohdistaa myös toimintaan. (JHS 160, Paikkatiedon laadunhallinta 2006) Kuvassa 9 esitetään laadunhallinnan viitekehys, jossa on nostettu korostetusti esiin laadun ohjaus ja -varmistus. Näitä tarkastellaan seuraavassa tarkemmin.



Kuva 9. Paikkatiedon laadunhallinnan prosessi. (JHS 160, Paikkatiedon laadunhallinta 2006, muokattu)

Laadunohjaus ja -varmistus

Karkean jaottelun mukaan paikkatiedon tuotantoprosessi voidaan jakaa neljään eri vaiheeseen: 1) tiedon keruu, 2) prosessointi, 3) hallinnointi ja 4) jakelu. Laadunohjauksella pyritään siihen, että tuotantoprosessia voidaan ohjata niin, että tuotantokeskeisen laadun tavoite (tuotemäärittelyn mukainen tietoaineisto) voidaan toteuttaa kannattavasti. (JHS 160, Paikkatiedon laadunhallinta 2006)

Salomäen (2003) mukaan tilastolliset menetelmät prosessien ohjauksessa (Statistical Process Control, SPC) ovat laajalti käytössä suomalaisissa yrityksissä. Tilastollinen prosessin ohjaus on menetelmä, jossa prosessin tilasta saadaan tietoa analysoimalla siitä kerättyä tilastollista dataa. Huomiota kiinnitetään yleensä enemmän prosesseihin kuin itse tietoaineistoihin. (JHS 160, Paikkatiedon laadunhallinta 2006) SPC-menetelmä tarkoittaa laajasti tulkittuna kaikkia niitä menetelmiä, joilla saadaan tilastollista pohjaa prosessin ohjaamiseen liittyvälle päätöksenteolle. Erilaisten tilastollisten työkalujen avulla on mahdollista tehdä luotettavia ja todistettavia johtopäätöksiä tutkittavasta asiasta. (Salomäki 2003)

SPC-menetelmän tavoitteena on ohjata prosesseja niin, että niiden suoritustaso parantuisi ja edistäisi siten myös vaatimustenmukaisten aineistojen tuottamista. Olettamuksena on, että kun prosessi on hyvin suunniteltu ja kontrolloitu, niin se tällöin tuottaa halutunlaisia tietoaineistoja ja -tuotteita. Laadunhallintaan kuuluvien taloudellisten resurssien oletetaan myös tällöin pienentyvän. Jotta laadunohjaus onnistuisi, edellyttää se, että kaikki prosessit on tunnistettu, selkeästi määritelty ja kuvattu. (JHS 160, Paikkatiedon laadunhallinta 2006)

Laadunvarmistuksen tarkoituksena on tuottaa luottamus siitä, että tietoaineiston laatuvaatimukset täyttyvät ja että tietoaineisto on siten määrittelyn mukainen. Laadunvarmistus perustuu arviointiin, jonka kohteena voivat olla sekä organisaation toiminta että sen tuotteet. (JHS 160, Paikkatiedon laadunhallinta 2006)

Laadun mittaus ja arviointi

Laadun arvioinnilla tarkoitetaan toteutuneen laadun vertaamista laatutavoitteisiin. Laadun arviointi perustuu laadun mittaukseen ja siitä saatuun informaatioon. Tarkoituksena on tuottaa tietoa, jonka pohjalta laatua voidaan parantaa. Laadun arviointi voidaan kohdistaa tietoaineiston lisäksi myös toimintoihin, prosesseihin, organisaation laadunhallintajärjestelmän suorituskykyyn tai vaatimuksenmukaisuuden tarkasteluun. Dokumentoitua prosessia, jossa laadun arviointi tapahtuu järjestelmällisesti ja riippumattomasti kolmannen osapuolen toimesta, kutsutaan auditoinniksi. (JHS 160, Paikkatiedon laadunhallinta 2006)

Auditointi

Laadunhallintajärjestelmä on johtamisjärjestelmä, joka koostuu laadunhallinnassa tarvittavien organisaatioiden rakenteiden, menettelyjen, prosessien ja resurssien kokonaisuudesta. Järjestelmän auditoinnin tarkoituksena on arvioida sitä, onko organisaation toiminta laadunhallintajärjestelmän mukaista ja täyttääkö järjestelmä organisaation itsensä sille asettamat vaatimukset. (JHS 160, Paikkatiedon laadunhallinta 2006)

Tuotannon sisäinen tietoaineiston tarkastus

Paikkatiedon tuotantokeskeinen laatu liitetään tietotuotemäärityksessä asetettuihin laatuvaatimuksiin. Laadun arviointi kohdistuu tietoaineiston virheettömyyteen. Arvioinnin tarkoituksena on tuottaa tietoa, jonka pohjalta saadaan varmistus siitä, että vaatimukset täyttyvät. *Tietoaineiston laatua voidaan parantaa saadun tiedon perusteella, koska asiakkaalla ei ole mahdollisuuksia parantaa tuotantoprosessin tai tietoaineiston laatua.* (JHS 160, Paikkatiedon laadunhallinta 2006)

JHS 160-suosituksessa laadun arvioinnin kohteena olevasta aineistosta käytetään nimitystä perusjoukko. Paikkatiedon laadun arvioinnin tulee perustua tarkastelun alla olevan perusjoukon (JHS 160, Paikkatiedon laadunhallinta 2006):

- 100 % tarkastukseen, jossa tarkastetaan perusjoukon jokainen tietokohde

TAI

- näytetarkastukseen, jossa perusjoukon tarkastettavien tietokohteiden valinta perustuu matemaattiseen todennäköisyysteoriaan. Perusjoukko joko hyväksytään tai hylätään sitä edustavasta otoksesta lasketun laatutuloksen perusteella.

Näytetarkastuksesta on olemassa kahta erilaista tyyppiä: ominaisuustarkastus ja muuttujatarkastus. Ominaisuustarkastuksessa perusjoukosta poimitaan tietokohteita ja verrataan niitä niille asetettuihin vaatimuksiin. Tämän jälkeen ne luokitellaan virheettömiksi tai virheellisiksi. Päätös hyväksymisestä tai hylkäämisestä tehdään otoksesta löytyneiden virheellisten tietokohteiden lukumäärän avulla. Muuttujatarkastus on hieman toisenlainen. Siinä otoksen tietokohteista mitataan jokin suure. Hyväksymiskriteeri perustuu perusjoukon mittaustulosten jakauman keskiarvoon ja keskihajontaan tai niiden estimaatteihin, joita sitten verrataan tarkastusrajoihin. (JHS 160, Paikkatiedon laadunhallinta 2006)

Näytetarkastuksen tarkoituksena on ohjata tietoaineiston laadun hyväksyntää laatutasolla, joka on yhtä hyvä tai parempi kuin AQL-luku (Acceptance Quality Limit). Tiedon tuottajan suorittamassa tarkastuksessa AQL on hyvän laatutason tunnusluku. Se ilmoittaa suurimman virheellisyysprosentin, jota näytetarkastuksen kannalta pidetään hyvänä prosessikeskiarvona. Näytetarkastuksissa käytettävä AQL-luku on tuottajan ja asiak-

kaan yhdessä määrittelemä. Tämä tieto on käytävä ilmi myös tietotuotemäärittelyssä. AQL-luku ilmaisee kelvottomien tietokohteiden prosenttiosuuden, jonka asiakas on valmis vielä hyväksymään. Tiedon tuottajan tulisi tuotannossa kuitenkin aina pyrkiä parempaan kuin määrätyn AQL-luvun osoittamaan laadutasoon. (JHS 160, Paikkatiedon laadunhallinta 2006)

Vastaanottotarkastus ja auditointityyppinen tarkastus

Asiakas tekee ennen tietoaineiston toimituksen hyväksymistä vastaanottotarkastuksen. Siinä hän tarkastaa, että tietoaineisto on kaikilta osin vaatimusten mukainen. Laadun osalta tulee tarkastaa, että se vastaa tuottajan ilmoittamaa ja toisaalta määriteltyä laatuvaatimustasoa. Tuotannon jälkeinen laadun tarkastus voidaan myös ulkoistaa kolmannelle osapuolelle. Auditointityyppinen tarkastus on tuottajaorganisaatiossa sisäisesti suoritettu tarkastus, jossa tuottaja itse tarkastaa valmistuneen tietoaineiston. Tällaisessa sisäisessä tarkastuksessa tavoitteena on saada objektiivista näyttöä paikkatiedon laatuvaatimusten täyttymisestä. Auditointityyppisen tarkastuksen voi suorittaa myös asiakas. (JHS 160, Paikkatiedon laadunhallinta 2006)

2.6 Laserkeilausaineiston hyödyntäminen infran eri käyttökohteissa

2.6.1 Lentolaserkeilaukseen pohjautuvat käyttökohteet

Maasto- ja korkeusmalli

Lentolaserkeilauksen ehkä yleisin käyttö ja sovellutus tie- ja ratahankkeissa on maastomallin tuottaminen suunnittelun eri vaiheisiin (Lohr & Wehr 1999; Habib 2010; Liikennevirasto 2011). Maastomallin tuottamista varten lentolaserkeilausta voidaan suorittaa lentokoneesta tai helikopterista (Liikennevirasto 2011).

Lentolaserkeilausta käytetään myös korkeusmallien tuottamiseen (Laaksonen & Vilhomaa 2011, s. 83; Wechsler 2011, Chang et al. 2012 mukaan). 1990-luvun puolivälin jälkeen kaikki tiedossa olleet eurooppalaiset korkeusmallihankkeet ovat perustuneet laserkeilaukseen (Laaksonen & Vilhomaa 2011, s. 83).

Mittaukset ja kartoitukset

Lentolaserkeilausta voidaan hyödyntää voimajohtojen, pylväiden ja muiden vastaavien kohteiden kartoituksessa sekä mallintamisessa (Lohr & Wehr 1999; Mangold 2005, Chang et al. 2012 mukaan; Habib 2010). Myös liikenneväylien, kuten teiden, rautateiden ja vesiväylien kartoituksessa hyödynnetään lentolaserkeilausta (Lohr & Wehr 1999).

Rannikkoalueiden muutokset ja eroosio

Lentolaserkeilausta voidaan hyödyntää rannikkoalueiden mittauksissa, joihin kuuluvat muun muassa vuorovesivyöhykkeet, rannikkoalueiden muutosten ja eroosion määrittäminen (Lohr & Wehr 1999; Habib 2010). Keilausta on käytetty apuna myös dyynien tilavuuksien muutosten määrittämiseen (Colby & Woolard 2002, Chang et al. 2012 mukaan).

Tilavuuksien määrittäminen

Lentolaserkeilausta on hyödynnetty erilaisten louhoksien tilavuuksien määrittämisessä (Lohr & Wehr 1999; Laaksonen & Vilhomaa 2011, s. 89).

Tulvamallinnukset ja -kartat

Keilausdatan pohjalta muodostettua korkeusmallia on mahdollista hyödyntää GIS-ohjelmistoissa. Näiden tietojen perusteella voidaan tehdä analyysejä ja mallinnuksia esimerkiksi niistä liikenneväylistä, jotka ovat alttiita tulvimiselle ja veden pinnan nousuille. (Arockiasamy & Berry 2012, Chang et al. 2012 mukaan; Bales et al. 2007, Chang et al. 2012 mukaan) Suomessa suurin yksittäinen lentolaserkeilauksen käyttökohde on ollut tulvakarttojen laatiminen. Keilausaineisto on sopinut tähän tarkoitukseen hyvin ja sen avulla on tehty laajojakin tulvamallinnuksia. Lisäksi aineistoa on hyödynnetty muun muassa tulvavapenkereiden kunnon arviointiin ja varajuoksutusreittien suunnitteluun. (Laaksonen & Vilhomaa 2011, s. 89)

Melumallinnukset ja näkyvyysanalyysit

Pistepilvien avulla voidaan tehdä visualisointeja erilaisten analysointien, kuten melumallinnuksen, näkyvyys- ja kuljetettavuusanalyysien tueksi (Laaksonen & Vilhomaa 2011, s. 89). Liittymien erilaisia näkemäesteitä ja -etäisyyksiä on tutkittu keilausaineistojen pohjalta (Gopalakrishna & Khatk 2003, Chang et al. 2012 mukaan; Tsai et al. 2011, Chang et al. 2012 mukaan). Pistepilviaineistoista voidaan automaattisesti irrottaa piirteitä, kuten rakennuksia. Keilausaineistosta voidaan tuottaa 3D-kaupunkimalleja esimerkiksi langattoman tietoliikenteen lähetysantennien suunnittelun tarpeisiin, yhdyskuntasuunnitteluun, mikroilmastomallien suunnitteluun ja saasteiden leviämiseen. (Lohr & Wehr 1999; Habib 2010)

Maanvyörymien ja luonnonkatastrofien kartoittaminen

Lentolaserkeilausta voidaan käyttää nopeaan kartoitukseen ja vahinkojen arviointiin esimerkiksi luonnonkatastrofien jälkeen (hurrikaanit, maanjäristykset, maanvyörymät) (Lohr & Wehr 1999; United States Geological Survey 2011, Chang et al. 2012 mukaan). Lentolaserkeilauksella voidaan tehokkaasti kartoittaa maanvyörymiä metsäisillä alueilla verrattuna tavanomaisiin menetelmiin. Erityisesti maanpinnan todellinen kor-

keus saadaan keilauksen avulla kartoitettua paremmin. Kenttätutkimuksia ja perinteisiä menetelmiä tulisi kuitenkin käyttää yhdessä lentolaserkeilauksen kanssa. (The GeoResearch Group 2003, Chang et al. 2012 mukaan)

Liikennemäärien arviointi

Lentolaserkeilauksen tuottamaa aineistoa on hyödynnetty liikennemäärien arvioinnissa. Laserkeilainta käytettiin seuraavien tietojen keräämiseen: ajoneuvojen lukumäärän laskemiseen, ajoneuvojen luokitteluun, ajoneuvoluokkien nopeuksien ja liittymien liikumismallien määrittämiseen. Näiden tietojen selvittäminen on mahdollista, koska lentolaserkeilaustekniikka kykenee säilyttämään liikkuvan kohteen geometrisen muodon. (Grejner-Brzezinska et al. 2005, Chang et al. 2012 mukaan)

2.6.2 Ajoneuvolaserkeilaukseen pohjautuvat käyttökohteet

Kartoitus ja mittaus

Kohteiden ja piirteiden tunnistaminen voidaan yleensä tehdä niin sanotun ”virtuaalisen maanmittauksen” avulla puoliautomaattisesti tai manuaalisesti, esimerkiksi pisteen valinta tietokoneohjelman näytöltä. Monet algoritmit ovat kuitenkin vielä tutkimus- ja kehitysvaiheessa. Pistepilviaineiston yhteydessä hankituilla kuvilla voi olla arvokasta hyötyä mittauksien kannalta. (Glennie et al. 2013)

Ajoneuvolaserkeilauksesta saatava pistepilviaineisto rajoittuu suhteellisen kapealle vyöhykkeelle ympäröivästä tiestä ja alueesta, tyypillisesti alta 50 metristä 100 metriin. Siksi maastomallia voidaan joutua täydentämään lisätietolähteillä, kuten lentolaserkeilauksella. Kaikilla pisteillä ei ole samaa tarkkuutta ja tästä seuraakin pistepilveen kohinaa eli pisteiden hajontaa. Siksi hyvä käytäntö on välttää käyttämästä yksittäisiä pisteitä, kun tehdään erilaisia mittauksia. Laserkeilausaineiston keskeinen vahvuus on sen suhteellisen korkea pistetiheys. (Glennie et al. 2013)

Insinöörimittaukset

Insinöörimittaukset vaativat suurta tarkkuutta ja pistetiheyttä. Ajoneuvolaserkeilauksella voidaan suorittaa muun muassa lähtötietojen hankintaa, kun esimerkiksi vertaillaan 3D-suunnittelun vaihtoehtoja. Ajoneuvokeilaus mahdollistaa yksityiskohtaisen dokumentoinnin as-built-kohteissa ja tarjoaa potentiaalisen tietolähteen koneohjaukseen. (Glennie et al. 2013; CALTRANS 2011)

Mallintaminen

Erittäin tarkkojen ja yksityiskohtaisten kolmiulotteisten mallien tekeminen pistepilvistä vie huomattavasti aikaa. Sen sijaan karkeita ja yleistettyjä malleja voidaan tehdä suhteellisen helposti. Joitakin puoliautomaattisia prosesseja näihin on jo olemassa, mutta

paljon on vielä manuaalista käsittelyä vaativaa toimintaa. Yksinkertaisia objekteja, joilla on perusgeometriset muodot, on helpointa irrottaa pistepilviaineistosta. Tällaisia ovat esimerkiksi tasomaiset, pallomaiset ja lieriömäiset kohteet. Ajoneuvolaserkeilauksesta saadaan runsaasti pisteitä. Yksittäin pisteillä voi olla alhaisempi tarkkuus verrattuna tavanomaisella mittauksella (esimerkiksi takymetrillä) hankittuihin pisteisiin. Yhtenä ryhmänä ne voivat kuitenkin mallintaa tarkasti jotain esinettä, sillä tiheä pistemäärä mahdollistaa suuremman yksityiskohtaisuuden tallentamisen. (Glennie et al. 2013)

Kolmiulotteiset mallit yksinkertaistavat ja vähentävät pistepilviaineistossa olevaa datan määrää (Glennie et al. 2013). Näihin voidaan käyttää tilastollisia menetelmiä, joiden avulla saadaan esimerkiksi poistettua haja- tai virhepisteitä. Voidaan tehdä myös niin, että pisteistöstä haetaan "määräviä" piirteitä ja oletetaan, että ne esittävät jotain tiettyä asiaa, esimerkkinä maanpinnan tai rakennusten luokittelu. (Hartikainen 2015) Aiemmin edellä jo kerrottiin, että kolmiulotteiset mallit perustuvat yksinkertaisiin perusgeometrioihin, kuten viivoihin, kaariin, tasoihin ja lieriöihin. Näin ollen, aineistosta poimitut piirteet joudutaan pakolla sovittamaan jonkin ennalta määrätyn muodon kanssa yhteen. Todellisuudessa kohteilla voi olla poikkeamia, pullistumia ja muita vastaavia ominaisuuksia. Näitä edellä mainittuja tärkeitä tietoja voidaan menettää, kun tehdään muunnosta yksinkertaistettuun malliin. (Glennie et al. 2013)

Yleissuunnittelu

Ajoneuvolaserkeilauksen tuottamasta datasta, kuten kriittisistä geometrisistä tiedoista ja alueiden välisistä suhteista saadaan tukea suunnittelun päätöksentekoon. Suunnittelijat voivat virtuaalisesti tutkia keilausaineiston dataa ja näin vähentää tarvetta käydä paikan päällä. (Glennie et al. 2013; CALTRANS 2011)

Ajorata-analyysit

Ajoneuvolaserkeilauksen tuottama data mahdollistaa sekä laadulliset että määrälliset analyysit ajoradan kunnosta, erityisesti jos tähän yhdistetään keilauksen yhteydessä otetut valokuvat. Laserkeilausaineistossa mukana olevasta intensiteetistä on erittäin paljon hyötyä silloin, kun esimerkiksi halutaan erottaa vaurioituneet betoniosat (halkeilu, lohkeilu) vahingoittumattomista osista. (Glennie et al. 2013)

Maastomalli

Ajoneuvolaserkeilaus tarjoaa yhden nopeimmista tekniikoista hankkia suunnitellulta alueelta maastomalli. Pistepilviaineistoa suodatetaan usein tilastollisesti, kun siitä ollaan luomassa maastomallia. Näin tehdään muun muassa siksi, että malli suoriutuisi paremmin CAD- ja insinööriohjelmissa, joita ei ole välttämättä suunniteltu käsittelemään suuria tietoaaineistoja (esimerkiksi suuri tiedostokoko). (Glennie et al. 2013; CALTRANS 2011)

Taiteviivat pitää poimia puoliautomaattisesti tai manuaalisesti. Monissa tapauksissa epäsäännölliset kolmioverkot (TIN) eivät pysty mallintamaan pistepilven pystysuoria pintoja, kuten rakennuksia ja jyrkkiä rinteitä. Vaikka CAD- ja GIS-ohjelmat tukevat pistepilviaineistoja, niin monet muut tekniikan alan analyysi- ja suunnittelupaketit eivät välttämättä anna samanlaista tukea. Suurempaa tiheyttä voidaan tarvita esimerkiksi silloin, kun toimitaan korkean kasvillisuuden alueella ja pitäisi saada maanpinnan pisteet mitatuksi. Joissakin tapauksissa laserkeilain ei näe varsinaisesti maanpintaa, koska järjestelmä on siihen nähden epäsuorassa kulmassa. Toisaalta maaston kartoitus ei yleensä vaadi niin suurta erotuskykyä kuin päällysten pinnan kartoitus. (Glennie et al. 2013)

3D-suunnittelu

Ajoneuvolaserkeilauksen aineistoja voidaan käyttää törmäystarkasteluihin. Voidaan esimerkiksi tehdä tarkasteluja, että miten suunnitellut kohteet sopivat nykyisten olemassa olevien kohteiden kanssa yhteen. Pistepilviaineistot mahdollistavat yksityiskohtaisten perustason tietojen vaihtoehtojen vertailuun. Liittymien parantamisen yhteydessä on suositeltavaa, että ajoneuvokeilauksella ajettuun reittiin sisältyisivät kaikki risteävät kadut ja suunnat, eikä luotettaisi pelkästään siihen, että riittää, kun ajetaan vain yhteen kertaan yhtä ajokaistaa ja yhteen suuntaan. (Glennie et al. 2013)

Rakentamisen automaatio, koneohjaus ja laadunvalvonta

Ajoneuvolaserkeilauksesta saatuja tietoja voidaan käyttää sekä hyödyntää suunnittelussa ja koneohjauksessa. Rakentamisen aikana tehtävä ajoneuvokeilaus edellyttää kuitenkin kuljettavissa olevaa reittiä. Muutoksen havainnointi- ja poikkeaman analysointiohjelmit ovat kehittymässä niin, että niihin voidaan syöttää suunnitellut mallit ja kohteesta keilatut pistepilvet. Näiden kahden tietoaineiston välisiä poikkeamia voidaan korostaa ja näin saadaan hyödyllistä tietoa rakentamisen laadunvalvontaan. (Glennie et al. 2013)

As-built- ja korjauksien dokumentointi

Ajoneuvolaserkeilaus mahdollistaa yksityiskohtaisen dokumentoinnin as-built- ja korjauskohteissa verrattuna perinteisiin paperisuunnitelmiin. Kun tiedot ovat yhdessä keskitetyssä ja ajan tasalla olevassa tietokannassa, niin niistä voi olla hyötyä tulevissa suunniteluissa ja projekteissa. (Glennie et al. 2013, CALTRANS 2011)

Määrien laskenta (esimerkiksi pinta-alat ja tilavuudet)

Maarakennustöiden massojen määrät, kasojen huiput ja varastokasojen jotkut sivut voivat jäädä keilaamatta erilaisten näkyvyysrajoitteiden vuoksi. Tällöin voidaan käyttää täydentävänä mittauksena paikallaan pysyvää eli staattista maalaserkeilausta. Ajoneuvokeilauksen dataa voidaan käyttää määrittämään pituuksia, pinta-aloja, tilavuuksia ja useiden muiden ominaisuuksien määriä, kuten maalattujen raidoitusten pituuksia tai alueita, joille on tehty päällysteen paikkauksia. (Glennie et al. 2013; CALTRANS 2011)

Päällysteen analysointi

Paikallinen tarkkuus ja etenkin paikallinen pystysuora tarkkuus ovat kriittisiä tekijöitä. Verkon tarkkuuden osalta vaatimukset ovat lievemmat paitsi silloin, kun tehdään ajassa tapahtuvan muutoksen vertailua. Päällysteen pinnan tasaisuuden arviointi edellyttää suurempaa näytteenottoväliä ja tarkkuutta. Monet yleiset ajoneuvokeilaimet eivät pysty täysin täyttämään näitä vaatimuksia, vaikka tietoa kerätäänkin suurella resoluutiolla (esimerkiksi $1\ 000\ \text{p/m}^2$) ja vaikka tilastollisilla menetelmillä parannetaan korkeuden tarkkuutta poistamalla aineistosta kohinaa (eli pisteiden hajontaa). (Glennie et al. 2013) Kyse on siitä, kuinka pieniä yksityiskohtia halutaan havaita. Jos ajatellaan tieinfraa, niin esimerkiksi päällysteen merkittävät vauriot saadaan esiin pienemmälläkin määrällä pisteitä (luokkaa joitain satoja p/m^2), mutta jos kiinnostuksen kohteena ovat hiushalkeamat, niin silloin edes luokkaa $1\ \text{p/cm}^2$ ei välttämättä riitä. (Hartikainen 2015) Näihin tapauksiin löytyy kuitenkin erikoistuneita järjestelmiä, jotka pystyvät täyttämään tiukat vaatimukset (Glennie et al. 2013). Heikkilän ja Marttisen (2013) mukaan ajoneuvolaserkeilausta voidaan hyödyntää myös päällysteen jrsinnan ja tasauksen optimoinnin suunnittelussa.

Painumatarkastelut

Jaakkola et al. (2015) tutkivat eräässä pilotissa ajoneuvolaserkeilauksen soveltuvuutta liikenneväylien painumien seurantaan ja mallipohjaiseen tarkasteluun. Projektissa selvitettiin muun muassa 3D-mallien tarkkuutta ja luotettavuutta sekä niiden soveltuvuutta tien painuman ja pituuskaltevuuden muutosten laskennan lähtötiedoksi. Tulokset olivat lupaavia vaikkakin myös lisätarkasteluja tarvitaan. Ajoneuvolaserkeilausta voitaisiin käyttää esimerkiksi rakennetun tiekohteen takuuajan painuman korkeussuuntaisen painuman selvittämiseksi. (Jaakkola et al. 2015)

Rakenteiden tarkastukset

Siltojen tarkastukset vaativat suurempia tarkkuuksia ja huomioitavia yksityiskohtia verrattuna muihin rakenteisiin. Vaikka ajoneuvolaserkeilauksella saadaan tuotettua yleistä geometriatietoa ja kokonaiskunnan arviointia, niin silloille tyypillisiä kriittisiä liitoksia ja yksityiskohtia ei todennäköisesti pystytä keilaamaan näkyvyysrajoitteiden takia. Siksi kenttätarkastuksia ei voida kokonaan korvata pelkästään ajoneuvokeilauksiin perustuvilla tarkastuksilla. (Glennie et al. 2013; CALTRANS 2011)

Kuivatus

Pistepilvestä saadaan helposti poimittua tietoa kaltevuuksista ja korkeuksista. Näistä tiedoista on suurta hyötyä, kun tehdään esimerkiksi kuivatusanalyysija. Ajoneuvokeilauksen data mahdollistaa muun muassa painumien paikantamisen. Näin saadaan selville ne alueet ja kohdat, joissa vesi saattaa mahdollisesti lammikoitua. (Glennie et al. 2013)

Kasvillisuuden hoito ja voimajohtolinjojen raivaukset

Ajoneuvolaserkeilauksen dataa voidaan käyttää ajassa tapahtuvan muutoksen seurantaan, jolloin on mahdollista tarkastella esimerkiksi kasvillisuuden kasvunopeutta ja kasvumäärää. Näiden tietojen perusteella voidaan muun muassa saada selville sellaisia alueita, joissa kasvillisuus uhkaa levittäytyä liian lähelle ajorataa tai voimajohtolinjoja. (Glennie et al. 2013; CALTRANS 2011)

Pelastustoiminnan kartoitus

Ajoneuvolaserkeilauksen aineistoa voidaan hyödyntää, kun luodaan perustason malleja lähtötiedoiksi GIS-järjestelmiin ja edelleen pelastusorganisaatioiden käyttöön. Onnettomuuden tai katastrofin jälkeistä tilannetta voidaan laserkeilata ja näin on mahdollista saada nopeasti tietoa vaurioituneesta tieosuudesta (edellyttäen, että tie on edelleen kulkukelpoinen). Tietojen perusteella kunnossapitohenkilöstö voi saada vastauksia kysymykseen, kuinka määrittellä asianmukaiset jatkotoimintatavat, kuten milloin tie voidaan avata jälleen liikenteelle ja millaisia korjauksia tarvitaan. (Glennie et al. 2013)

Alikulkukorkeudet

Tämä ajoneuvolaserkeilauksen sovellutus vaatii suurta paikallista tarkkuutta. Verkon tarkkuus ei ole niin kriittinen tekijä. Ajoneuvokeilausaineiston erotuskyky mahdollistaa alikulkukorkeuden analysoinnin koko kohteesta yhdellä kertaa. Vähimmäisalituskorkeuden löytyminen pistepilviaineistosta on todennäköisesti helpompaa, kuin että muutamia kohteita valittaisiin manuaalisesti ja nämä kohteet sitten mitattaisiin esimerkiksi takymetrillä. (Glennie et al. 2013; CALTRANS 2011) Alikulkukorkeuden määrittämiseen on saatavilla ohjelmistopaketteja, jotka tekevät määrittämisen pistepilvestä automaattisesti. Tärkeää on kuitenkin aina tarkistaa automaattisten algoritmien antamat tulokset. (Glennie et al. 2013)

Liikenneuhkat

Liikenneuhkatutkimuksissa vaaditaan, että laserkeilain liikkuu nopeammin kuin muu liikenne. Esimerkiksi, jos liikenne on vahvasti painottunut pohjoiseen päin menevälle kaistalle, niin keilain voi tällöin liikkua etelään menevällä kaistalla ja kerätä tietoa pohjoiseen menevästä liikenteestä olettaen, että autot ovat näkyvissä. Monia, toistettavia vaiheita tarvitaan koko päivän tai viikon ajan riippumatta tutkimuksen tyypistä. (Glennie et al. 2013)

Maankäyttö ja kaavoitus

Ajoneuvolaserkeilaus aineiston tuottama tieto voi tukea maankäyttöä ja kaavoitusta. Ajoneuvokeilauksen tuottama aineisto tulisi kuitenkin yhdistää lentolaserkeilaus aineistoon, koska ajoneuvokeilauksella saadaan tietoa vain läheltä tietä. (Glennie et al. 2013)

Näkemä- ja turvallisuusanalyysit

Ajoneuvolaserkeilauksen pistepilviaineistoa voidaan käyttää apuna, kun halutaan saada tietoa yleisistä geometrisistä ominaisuuksista (taso, kalteva pinta, tien tai kaistan leveys) näkyvyyden selvittämistä tai muita turvallisuusanalyysiejä varten (esimerkiksi STOP-merkin etäisyys). Turvallisuustutkimuksia voidaan tehdä myös virtuaalisesti 3D-pistepilveissä. (Glennie et al. 2013; CALTRANS 2011)

Rikos- ja onnettomuustutkinta

Ajoneuvolaserkeilauksella voidaan saada yksityiskohtaista tietoa tienpinnan ominaisuuksista. Pistepilviaineistosta voi olla tukea, kun tehdään rikosteknistä tutkintaa. Ajoneuvokeilauksen data voi myös tukea muuta oikeustutkintaa esimerkiksi vastuukysymyksissä, kun on selvitettävä tukimuurien vaurioitumista. Uusintamittaukset voivat olla tärkeitä, kun rekonstruoidaan vauriomekanismeja ja näytetään toteen eri aikajanoja. (Glennie et al. 2013; CALTRANS 2011)

Kuljettajan avustaminen ja autonominen ohjaus

Ajoneuvolaserkeilaus aineistoista saadaan materiaalia malleihin, joita hyödyntävät erilaiset kuljettajan avustajat ja autonomiset ohjausjärjestelmät. Monissa kuljettajan avustajajärjestelmissä on omat laseranturit. (Glennie et al. 2013)

Liikennemerkkien inventoinnit ja kuntoarvioinnit

Puoliautomaattisia ja automaattisia prosesseja on olemassa liikennemerkkien irrottamiseksi pistepilviaineistosta. Liikennemerkkien ollessa kyseessä, voi kuitenkin sopivan pistepilven tiheyden saavuttaminen olla vaikeaa ja siinä tapauksessa valokuvat tarjoavatkin ehkä yksityiskohtaisempaa tietoa. Monien erityyppisten liikennemerkkien heijastava luonne voi johtaa ongelmiin kylläisyyden ja kukoistusominaisuuksien kanssa. Riippuen laserkeilaimen suuntauksesta, jotkin kokoonpanot eivät tallenna liikennemerkkien molempia puolia eli etu- ja takaosaa. (Glennie et al. 2013; CALTRANS 2011)

Intensiteettimittaukset antavat viitteitä liikennemerkkin heijastavuudesta, mutta näitä menetelmiä ei ole ainakaan vielä standardisoitu. Intensiteettimittaukset ovat yleensä vertailukelpoisia vain samalla järjestelmällä kerättyjen aineistojen kesken. Samanaikainen kuvan tallennus on välttämätön vaatimus liikennemerkkien inventointihankkeissa. (Glennie et al. 2013) Intensiteettiin vaikuttavat merkittävästi myös esimerkiksi sääolosuhteet, auringonvalon suunta ja pintojen erilaiset materiaalit. Intensiteetin kalibroinnista ei ole ilmeisesti saatu merkittäviä tieteellisiä tuloksia, koska se on haastavaa, niin monen asian vaikuttaessa siihen. (Hartikainen 2015)

Virtuaalimatkailu

Yhdysvalloissa sikäläisen Liikenneviraston monet eri yksiköt tarjoavat matkailijoiden käyttöön erilaisia tiekarttoja. Ajoneuvolaserkeilauksen dataa voitaisiin mahdollisesti käyttää luomaan ajantasaisia virtuaalikarttoja osavaltion valtateistä, jotta kuljettajat voisivat tutustua ja vieraila virtuaalisesti reitin eri osilla jo etukäteen ennen matkaa. Kuljettajat voisivat myös esimerkiksi ”ajaa” virtuaalisesti vaikeiden eritasoliittymien läpi, kun he suunnittelevat matkareittejään. Näin vaikeat kohteet, kuten eritasoliittymät olisivat tavallaan jo ”tuttuja”, kun kuljettajat saapuisivat niihin todellisella matkallaan. (Glennie et al. 2013)

Historialliset kohteet

Ajoneuvolaserkeilauksesta voi olla hyötyä, kun hankitaan virtuaalimalleja historiallisista kohteista ja alueista. Maalaserkeilaus on kuitenkin suositeltavampi menetelmä silloin, kun ollaan kiinnostuneita yksittäisistä rakenteista. (Glennie et al. 2013)

Epävakaat rinteet ja maanvyörymien arvioiminen

Tämän tyyppisissä tutkimuksissa ajoneuvolaserkeilausta pitää usein täydentää maa- tai lentolaserkeilauksella. Esimerkiksi, kun tie on rinteessä, ajoneuvokeilausjärjestelmä pystyy hankkimaan tietoa rinteiden yläosasta, koska tieltä on sinne hyvä näkyvyys. Sen sijaan jyrkästä alamäestä ei saada kerättyä tietoa, koska tieltä ei ole sinne näkyvyyttä. Ajoneuvokeilausta voidaan käyttää pienissä maanvyörymissä ja rinteissä erityisesti silloin, kun ylämäen rinteet ovat jyrkkiä. Suurissa maanvyörymissä tarvitaan kuitenkin ilmasta tehtävää laserkeilausta. Lisäksi geometriatiedot ja keilausaineiston intensiteetti-erot voivat olla hyödyllisiä, kun halutaan erottaa eri sedimenttien tyyppejä paljastumista. (Glennie et al. 2013; CALTRANS 2011)

Tarvittava tarkkuus ja pistetiheys riippuvat siitä, millä nopeudella maanvyörymä liikkuu. Lisäksi tulisi myös harkita alueellista erotuskykyä ja ajallista tarkkuutta. Kontrollipisteet ja -kohteet lähellä maanvyörymiä voivat liikkua, eivätkä näin ollen ole välttämättä kovin luotettavia. (Glennie et al. 2013)

2.6.3 Maalaserkeilaukseen pohjautuvat käyttökohteet

Maaston kartoitus

Maalaserkeilauksella voidaan kartoittaa pienehköjä maastomallikohteita, kuten olemassa olevia eritasoliittymiä. Maastomallia pystytään tuottamaan luotettavasti kuitenkin varsin kapealta vyöhykkeeltä. (Liikennevirasto 2011; CALTRANS 2011)

Liikennetunnelit

Maalaserkeilausta voidaan hyödyntää liikenneväylien rakenteiden kunnon ja toiminnallisuuden hallinnassa. Maalaserkeilaus ja sen avulla tehtävät seurantamittaukset soveltuvat käytettävyyden ja tarkkuuden osalta hyvin infrarakenteiden seurantamittauksiin. (Cronvall et al. 2012) Maalaserkeilauksella on mahdollista mitata hitaita muodonmuutoksia, joissa ei tapahdu nopeaa palautumista alkutilaan. Mitattavia kohteita voisivat olla esimerkiksi kallioleikkausten seinäpinnat, tunneleiden verhourakenteet, penger- ja luiskarakenteet sekä sillat ja tukimuurit. (CALTRANS 2011; Cronvall et al. 2012)

Sillat

Maalaserkeilausta voidaan hyödyntää esimerkiksi siltojen rakenteellisen kunnon selvittämisessä ja erilaisissa geometrisissä mittauksissa, kuten alikulkukorkeuden määrittämisessä. (Chen & Hauser 2009, Chang et al. 2012 mukaan; CALTRANS 2011) Pistepilviaineistoa voidaan käyttää sillan elementtikannen suunnitteluun ja sillan kannen siirron mittauksiin. Keilaimella on mahdollista mitata muun muassa palkin paikkaa, taipumaa ja kallistumaa. (DeMann 2010, Chang et al. 2012 mukaan) Maalaserkeilaus aineistosta saadaan selville muun muassa rakenteelliset siirtymät, muodonmuutokset, metalliosien vahingoittumiset ja pintahalkeamat. Uuden sillan laadunvarmistusta voidaan suorittaa maalaserkeilauksen avulla. Kun keilauksesta saatua pistepilviaineistoa verrataan suunniteltuihin malleihin, saadaan selville mahdolliset poikkeamat. (Chen & Hauser 2009, Chang et al. 2012 mukaan) Maalaserkeilausta voidaan käyttää apuna, kun siltoja kunnostetaan ja uudistetaan tai silloin, kun niitä ollaan siirtämässä toiseen paikkaan (Minnesota Department of Transportation 2010, Chang et al. 2012 mukaan).

Vesistö rakenteet

Maalaserkeilausta on käytetty muun muassa Kuurnan kanavan mittauksissa. Projektissa pyritään selvittämään muun muassa kahdella eri mittauskerralla kanavan rakenteissa ja pohjatopografiassa mahdollisesti tapahtuvat muutokset. Lisäksi pyritään luomaan periaatteet tarkastusten toistettavuudelle ja eri aikoina tuotettujen aineistojen vertailulle. Vedenpinnan alapuolisista rakenteista tuotettiin pistepilviaineisto monikeilauksella sekä vedenpinnan yläpuolisista rakenteista maalaserkeilauksella ja 3D-valokuvauksella. Laserkeilausta pidettiin tässä hankkeessa luotettavimpana mittausten menetelmänä ja se toimikin muiden menetelmien referenssiaineistona. (VRT 2014)

Määrien laskenta

Maalaserkeilausta voidaan käyttää maarakennustöiden massojen määrien arviointiin ja määrittämiseen. Tavanomaisilla menetelmillä tehtävät leikkauksien ja täyttöjen määrien arvioinnit ovat vaikeita varsinkin silloin, kun rakentaminen koostuu epälinearisista osista. Maalaserkeilaus tarjoaa tähän toteuttamiskelpoisen ratkaisun. (Peterson et al. 2012, Chang et al. 2012 mukaan; CALTRANS 2011)

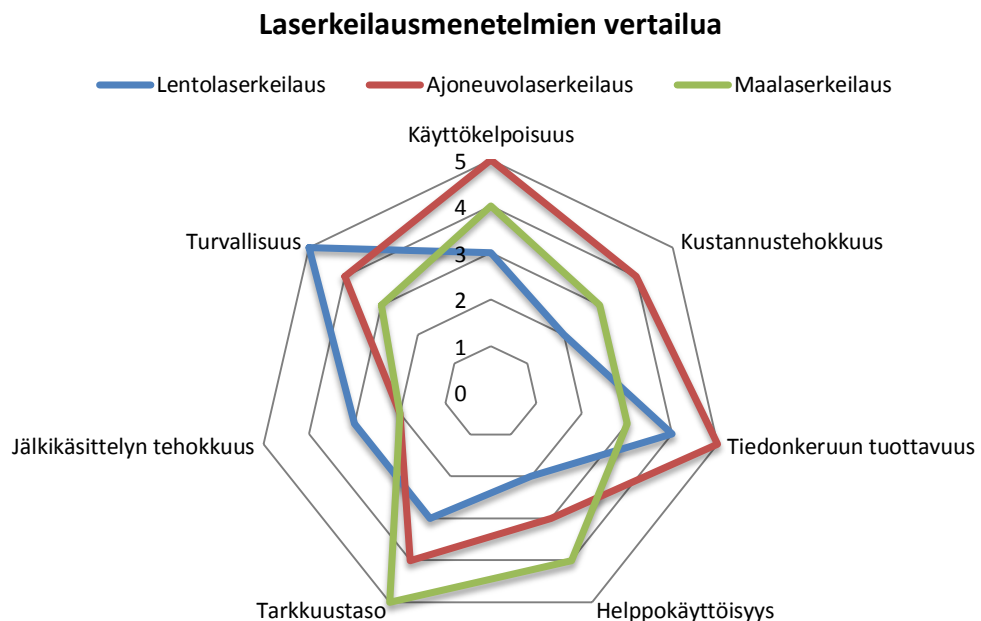
Kallioalueiden kartoitukset ja arvioinnit

Maalaserkeilausta voidaan hyödyntää erilaisissa kallion ominaisuuksiin liittyvissä kartoituksissa ja arvioinneissa. Keilaimen avulla voidaan selvittää muun muassa kallion epäjatkuvuuden suuntautumista, epätasaisuutta, pituutta, etäisyyttä ja lohkokokoa. Maalaserkeilausta voidaan hyödyntää myös kivivyöryalueiden paikantamisessa, mallintamisessa ja seurannassa. (Kemeny & Turner 2008, Chang et al. 2012 mukaan; CALTRANS 2011)

2.7 Laserkeilausmenetelmien vertailua

Tässä luvussa tehdään vertailua yleisellä tasolla eri laserkeilausmenetelmien välillä. Chang et al. (2012) mukaan kustannukset, tarkkuus ja tiedonkeruun nopeus vaihtelevat eri laserkeilausmenetelmien (lento-, ajoneuvo- ja maalaserkeilaus) kesken. Myös menetelmien käyttömahdollisuudet vaihtelevat erilaisissa kohteissa. Kuvassa 10 vertaillaan eri laserkeilausmenetelmien käyttökelpoisuutta, kustannustehokkuutta, tiedonkeruun tuottavuutta, helppokäyttöisyyttä, tarkkuusastetta, jälkikäsitteilyn tehokkuutta ja turvallisuutta. (Chang et al. 2012)

Eri laserkeilausmenetelmiä on arvioitu viiden pisteen arviointiasteikolla edellä mainittujen toimintojen näkökulmasta. Arvo 5 edustaa korkeinta, arvo 3 keskitasoa ja arvo 1 alinta luokitusta. Kuvaajan keskipiste kuvaa ainoastaan sen origoa ja sitä on merkitty 0:lla. Vertailu perustuu laserkeilausmenetelmien yleiseen hyödyntämiseen liikenteeseen perustuvissa ja siihen liittyvissä käyttökohteissa. On kuitenkin syytä huomata, että kun tarkastellaan yksittäisiä käyttökohteita, niin jokaisen laserkeilausmenetelmän luokitukset voivat vaihdella riippuen hankkeen laajuudesta ja luonteesta. (Chang et al. 2012)



Kuva 10. Eri laserkeilausmenetelmien vertailua. (Chang et al. 2012, muokattu)

Käyttökelpoisuus

Chang et al. (2012) ovat tutkimuksissaan selvittäneet eri laserkeilausmenetelmien käyttökelpoisuutta muun muassa niiden liikenteeseen liittyvissä hankkeissa hyödynnettävien käyttökohteiden lukumäärällä. Ajoneuvolaserkeilauksen käyttökelpoisuutta verrattuna maalaserkeilaukseen on auttanut teknologian kehittyminen. Ajoneuvolaserkeilausjärjestelmät ovat merkittävästi hyötynneet siitä, että ne voivat tallentaa insinöörimittauksien tasoista mittaustietoa liikkeessään valtatieopeuksilla muun liikenteen mukana. Ajoneuvokeilausjärjestelmät voivatkin tuottaa erittäin tarkkoja pistepilviaineistoja laajoilta hankealueilta, jotka maalaserkeilausmenetelmällä tehtynä olisivat tehottomia ja kalliita. Vaikka lentolaserkeilausta voidaan käyttää laajojen ja vaikeakulkuisten alueiden mittaamiseen, niin se sai kuitenkin tässä yhteydessä keskitason luokituksen muun muassa sen alemman tarkkuustason vuoksi. (Chang et al. 2012)

Kustannustehokkuus

Kustannustehokkuus liittyy eri keilausmenetelmien keskinäiseen kilpailukykyyn. Maalaserkeilausmenetelmä luokiteltiin keskitason luokkaan, vaikka se pystyykin tuottamaan suuritarkkuuksista mittaustietoa. Luokitukseen vaikuttaa muun muassa maalaserkeilaimen mittausalueen rajoittuneisuus. Yhdellä mittauskerralla voidaan mitata vain yhdestä suunnasta kerrallaan ja sitten keilainta on jälleen siirrettävä uuteen paikkaan. Kustannukset kasvavat sitä mukaan, mitä useammin keilainta joudutaan siirtämään. Lentolaserkeilausmenetelmä sai luokituksen 2, koska sen kokonaiskustannustehokkuutta alentavat lentokoneista tai helikoptereista aiheutuvat korkeat kustannukset, kuten omistus tai vuokraus, säilytys, huolto ja käyttö. Ajoneuvoihin liittyvät kustannukset ovat suhteellisen edullisia, kun verrataan investointia laserkeilain- ja anturilaitteisiin. Vaikka ajoneuvolaserkeilauslaitteiston hankintamenot voivat olla huomattavasti korkeammat kuin maalaserkeilaimen, niin pitkän aikavälin kustannustehokkuus ja kyky mitata useampaa kohtaa samanaikaisesti antoivat sille korkeamman luokituksen. (Chang et al. 2012)

Tiedonkeruun tuottavuus

Tiedonkeruun tuottavuus on ajoneuvo- ja lentolaserkeilauksella suurempi kuin maalaserkeilauksella johtuen niiden kyvystä kattaa paljon laajempia alueita yhdellä keilauksella. Ajoneuvokeilaus sai korkeimman luokituksen sen tiedonkeruun nopeudesta ja korkeasta tarkkuustasosta. Se pystyy keräämään tietoa ajettaessa valtatieopeuksilla ja tuottamaan yksityiskohtaisia pistepilviaineistoja, joita voidaan käyttää esimerkiksi omaisuudenhoitoon liittyvissä käyttökohteissa. Ajoneuvo- ja lentolaserkeilauslaitteistoihin integroidut GNSS- ja inertiajärjestelmät seuraavat samanaikaisesti liikkeellä olevan keilaimen sijaintia ja asentoa. Maalaserkeilausjärjestelmät puolestaan vaativat yleensä samankaltaisia lisätoimintoja ja -asetuksia sijainnin määrittämiseen kuin tehdään perinteisten mittausmenetelmien (esimerkiksi takymetri) yhteydessä. (Chang et al. 2012)

Helppokäyttöisyys

Helppokäyttöisyys perustuu työtehtäviin, joilla eri laserkeilausjärjestelmiä käytetään. Verrattuna muihin geodeettisiin mittausrakenteisiin, laserkeilauslaitteistot ovat melko monimutkaisia järjestelmiä. Asianmukainen toiminta vaatii todellista ymmärrystä kyseisestä teknologiasta. Maalaserkeilauksen alkutoimien, kuten kohdistuksen jälkeen koulutetun mittajaan tarvitsee vain aktivoida keilausjakso. Näin ollen se sai suuremman luokituksen kuin muut menetelmät. Ajoneuvo- ja lentolaserkeilauslaitteistot vaativat lisäksi tietämystä GNSS- ja inertiajärjestelmistä. Useista erilaisista antureista koostuvat järjestelmät on kalibroitava, jotta kunkin anturin suhteellinen sijainti tiedettäisiin tarkasti. Lentolaserkeilausmenetelmä sai alemman luokituksen kuin muut, koska sillä on muihin verrattuna lisävaatimuksena ammattitaitoinen lentäjä, joka lentää lentokonetta tai helikopteria. (Chang et al. 2012)

Tarkkuustaso

Tarkkuustasot vaihtelevat eri keilausmenetelmien kesken. Maalaserkeilaus sai korkeimman luokituksen sen kyvystä tuottaa suurinta absoluuttista ja suhteellista mittaus-tarkkuutta. Vaikka ajoneuvolaserkeilausjärjestelmät keräävät vähemmän tarkempaa absoluuttista mittaus-tarkkuutta sisältävää mittaus-tietoa, voidaan menetelmää kuitenkin käyttää insinöörimittauksien tiedonkeruuseen. Lentolaserkeilausmenetelmää on yleisesti käytetty pohjakarttojen ja korkeus- sekä pintamallien tuottamiseen. Siksi se sai keskita-sion luokituksen. (Chang et al. 2012)

Jälkikäsitteilyn tehokkuus

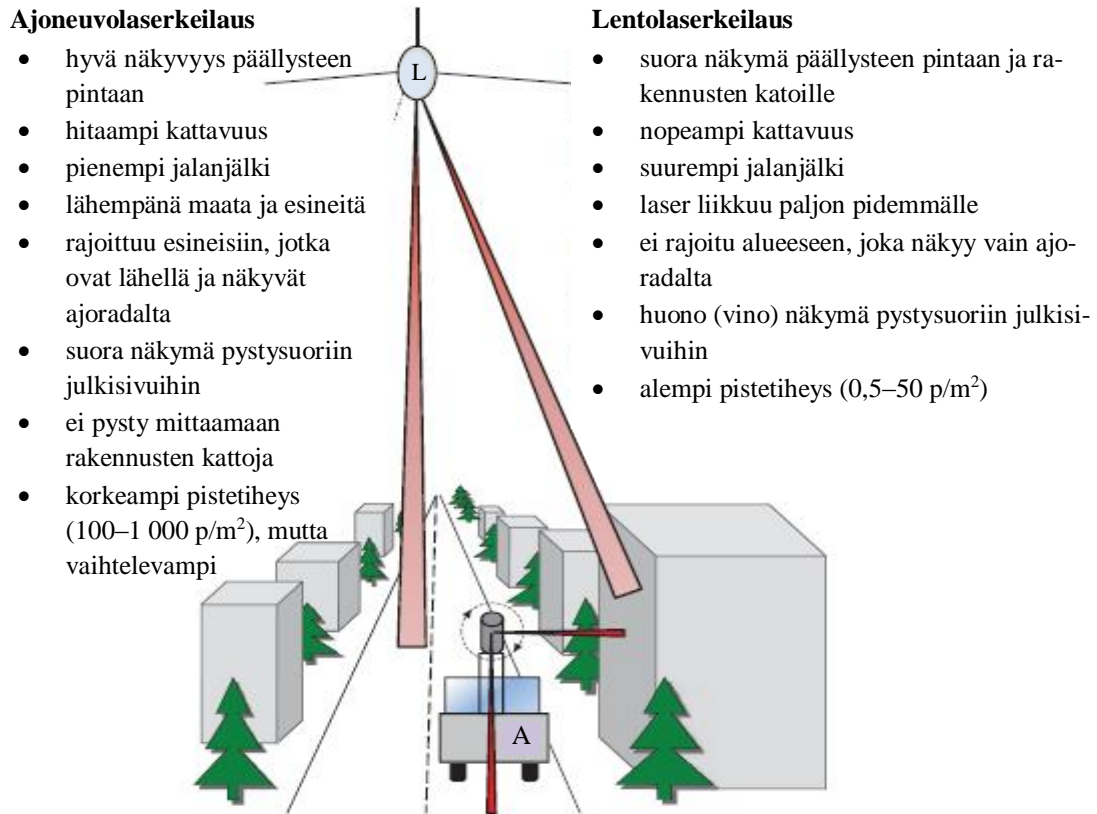
Maalaserkeilaimen jälkikäsitteilyn tehokkuus on suhteellisen alhainen. Siinä missä la-serkeilauksella on selkeä etu tiedonkeruun tuottavuudessa, niin jälkikäsitteilyn tehokkuudessa se menetetään. Jo pelkästään laserkeilaimen tallentaman datan ja yksityiskoh-tien suuren määrän vuoksi tiedon analysoiminen on hyvin aikaa vievää. Lentolaserkei-lauksen väljemmät tarkkuusvaatimukset ja rajalliset käyttökohteet vähentävät sen tieto-aineistojen monimutkaisuutta sekä hyödynnettävän tiedon vaatimaa jälkikäsitteilyä. (Chang et al. 2012)

Turvallisuus

Turvallisuus liittyy kenttähenkilöstölle mahdollisesti aiheutuvien vahingonvaarojen vä-hentämiseen ja yleisesti liikuttaessa muun liikenteen seassa siihen liittyvän tiedonke-ruun aikana. Tämä onkin yksi keskeisimmistä laserkeilauksen eduista verrattuna muihin mittausmenetelmiin. Vaikka maalaserkeilausmenetelmä saattaa altistaa kenttähenkilös-tön vaaroille heidän joutuessaan liikkumaan esimerkiksi ajoväylillä, niin kuitenkin tie-donkeruun nopeus ja hyvä kantama alentavat yleistä altistumista vaarallisille liikenne-tai ympäristöolosuhteille. Ajoneuvolaserkeilaus mahdollistaa operaattorin mitata ja kar-toittaa tieympäristöä valtatienopeudella muun liikenteen mukana. Tästä johtuen se sai

korkeamman luokituksen. Lentolaserkeilausmenetelmässä mittausta ja kartoitusta tehdään ilmasta, jossa on huomattavasti enemmän vapaata ja tyhjää tilaa lentokoneen tai helikopterin toimia. Siksi se sai korkeimman luokituksen. (Chang et al. 2012)

Kuvassa 11 on tehty vielä vertailua ajoneuvo- ja lentolaserkeilauksen välillä (Glennie et al. 2013):



Kuva 11. Ajoneuvo- ja lentolaserkeilauksen vertailua. (Glennie et al. 2013, muokattu)

2.8 Laserkeilauksen viimeaikaisia tutkimuksia

Tässä luvussa on käsitelty yleisellä tasolla tulevaisuuden näkymiä, teknologioiden kehittymistä ja alalla tapahtuvaa tutkimusta. Esiin on nostettu muutamia viime aikoina tehtyjä tutkimuksia laserkeilauksesta. Tässä yhteydessä on syytä mainita, että ala menee tällä hetkellä kovaa vauhtia eteenpäin ja tässä yhteydessä esitetyt tulevaisuuden teknologiat voivat olla jo arkipäivää tai jopa osittain vanhentunutta tekniikkaa.

Glennie et al. (2013) mukaan laserkeilausjärjestelmän osat edelleen parantuvat ja kehittyvät nopeasti. Muun muassa laserkeilaimen nopeus, tarkkuus, kantama, siirrettävyys ja monet muut ominaisuudet sekä myös IMU-järjestelmät tulevat kehittymään entisestään. Lisäksi satelliittien lukumäärän kasvaessa tulevaisuudessa, on GNSS-järjestelmältä odo-

tettavissa tarkempaa paikannustietoa. Kehitysaskeleet geoidimallien osalta mahdollistavat myös parempia GNSS-järjestelmien ortometrisia (korkeus meren pinnasta) korkeusarvoja. (Glennie et al. 2013)

Viimeaikaiset edistykset tietojenkäsittelytieteessä ovat mahdollistaneet 3D-pistepilvien tuottamisen sarjasta 2D-kuvia. Vaikka tämä pohjimmiltaan toimii vastoin fotogrammetrian periaatteita, niin silti parannukset tiheydessä ja automaattisessa mallin muodostuksessa ovat viime aikoina kasvaneet voimakkaasti. (Glennie et al. 2013) Edellisen kaltaista 3D-valokuvaus-menetelmää on kokeiltu muun muassa jo aiemmin edellä mainitussa Kuurnan kanavan mittauksissa (VRT 2014).

Hyypä ja Zhu (2014) ovat tutkineet laserkeilauksen hyödyntämistä rautatieympäristössä. He käyttivät tässä apuna lento- ja ajoneuvolaserkeilaus aineistoja, joista mallinsivat erilaisia kohteita, kuten maanpintaa, junarataa, rakennuksia, voimansiirtolinjoja, pylväitä, puita sekä katu- ja liikennevaloja. He kehittivät tutkimuksessaan muun muassa automaattisia algoritmeja rakennusten mallintamiseen. Lentolaserkeilaus aineiston tunnistustarkkuus rakennusten osalta oli 93,44 %. (Hyypä ja Zhu 2014)

Lisäksi he kehittivät algoritmin maanpintamallin yksinkertaistamiseen. Algoritmi mahdollisti alkuperäisen ja suurikokoisen tiedoston huomattavan pienentämisen, ja samalla se pystyi säilyttämään alkuperäisen maaston ominaisuudet. Tällä oli suotuisia vaikutuksia mallin jälkikäsitteilyyn ja 3D-visualisointiin. Lisäksi mallin käyttäjät pystyivät valitsemaan maanpinnan yksityiskohtaisuuden tason eri sovelluksissa. Yksityiskohtaisuutta oli mahdollista tarkastella kolmella eri tarkkuustasolla (LoD): 0.005, 0.01 ja 0.02. Mitä pienempi luku, niin sitä enemmän yksityiskohtaista tietoa malli sisälsi maanpinnasta. (Hyypä ja Zhu 2014)

Zhu (2015) on tutkinut väitöskirjatutkimuksessaan rakennetun ympäristön kolmiulotteista mallintamista pistepilvistä. Tutkimuksessaan hän on muun muassa kehittänyt automaattisia pistepilviaineiston luokittelutekniikoita ja georeferoitujen binääristen kuvien prosessointitekniikoita useiden pistepilviaineistojen luokitteluun. Lisäksi tutkimuksessa rekonstruointiin erilaisia 3D-ympäristöjä, kuten maanpintamalleja, rakennuksia ja tiiverkkoja. Väitöskirjatutkimuksen tulokset ovat hyödyllisiä, kun kehitetään erilaisia tulevaisuuden sovelluksia, kuten 3D-malleihin perustuvia navigointisovelluksia tai topografisten 2D-karttojen ajantasaistamista 3D-kartoiksi. (Zhu 2015)

Jaakkola (2015) on tutkinut väitöskirjatutkimuksessaan edullista liikkuvaa laserkeilausta ja sen soveltuvuutta ympäristön kartoitussovelluksiin. Hän kehitti tutkimuksessaan edullisen, monisensorisen liikkuvan laserkeilausjärjestelmän, jota voidaan käyttää sekä ajoneuvo- että lennokkialustalla. Tieympäristön mittauksissa kyseisellä laitteistolla pystyttiin luokittelemaan tiemaalausten viivat 80,6 %:n, suojatiet 92,3 %:n ja reunakiveykset 79,7 %:n keskimääräisellä tarkkuudella. (Jaakkola 2015)

Lisäksi tutkimuksessa saatiin selville, että lennokkialustalla voitiin saavuttaa jopa perinteistä lentokonelaserkeilausta parempi tarkkuus pistepilven ja puuston piirteiden tunnistuksen osalta. (Jaakkola 2015)

2.9 Inframallintaminen

Viime vuosina infra-alalla on ollut voimakasta kiinnostusta mallien käyttämiseen ja kehitystyötä on tehty yhdessä eri osapuolten kesken. Yksi merkittävimmistä kehityshankkeista on ollut vuosina 2010–2013 järjestetty RYM Oy:n (Rakennetun ympäristön strategisen huippuosaamisen keskittymä) PRE-tutkimusohjelman (Built Environment Process Re-engineering) InfraFINBIM-työpaketti. Sen työskentelyyn ovat osallistuneet useat alan eri toimijat, kuten tilaajat, suunnittelijat, urakoitsijat ja ohjelmistotoimittajat. (Liikennevirasto 2014, s. 8) Keväällä 2015 alalle saatiin ohjeet inframallintamiseen liittyen, kun Rakennustietosäätiön erityispäätoimikunta building-SMART Finland (bSF) jatkoi InfraFINBIM-työpaketin osapuolten ohjeiden valmistelutyötä ja julkaisi Yleiset inframallivaatimukset 2015 (YIV 2015) -ohjeiden osat 1–7. Loput ohjeiden osat 8–12 julkaistaan syyskuussa 2015. (InfraBIM 2015)

Inframallintamisella tarkoitetaan alaa, joka käsittelee infrarakenteiden mallintamista tietokonesovelluksilla sekä infratietojen kuvaamista ja tiedonsiirtoa tietokonesovelluksilla tulkittavasta muodossa (Seren 2014). Inframalli on digitaalisessa muodossa olevan infrakohteen kolmiulotteinen kuvaus ominaisuustietoineen. Tämän tyyppinen tiedon kuvaaminen mallipohjaisesti mahdollistaa sen, että tietoa pystyvät tulkitsemaan ihmisten lisäksi myös erilaiset tietotekniset järjestelmät ja sovellukset. Näitä järjestelmiä ja sovelluksia ovat muun muassa määrälaskentaohjelmat, työmaan mittaus- ja koneohjauslaitteet ja infranhallintajärjestelmät. Inframallien hyödyntämisessä nähdään suurta potentiaalia prosessien tehostamiseen verrattuna nykyisiin suunnittelu- ja rakentamiskäytäntöihin. (Liikennevirasto 2014, s. 8) Myös kunnossapidossa nähdään samankaltaisia hyödyntämismahdollisuuksia.

Inframallintamisen tavoitteena on, että kertaalleen suunniteltua tai mallinnettua tietoa voidaan siirtää hankkeen elinkaaren aikana vaiheesta toiseen oikean muotoisena ilman, että tietoa katoaa. Mallintamisella tavoitellaan seuraavia hyötyjä (Liikennevirasto 2014, s. 10):

1. Tiedon jälleenkäyttöarvo

- Tiedon siirtyminen suunnitteluvaiheesta toiseen. Tällä pyritään hukan ja uudelleen tekemisen minimointiin.
- Tiedon jälleenkäyttö hankinnassa. Nopeuttaa ja helpottaa tilaajien ja palveluntuottajien perehtymistä hankkeeseen.
- Tiedon siirtyminen suunnittelusta rakentamiseen (valittujen ratkaisujen taustat ja perustelut)

- Tiedon hyödyntäminen omaisuuden hallinnassa (ylläpitomallit, ylläpidon ja korvausinvestointien suunnittelu)

2. Suunnittelun laadunvarmistus

- Visuaalinen tarkastus eli suunnitteluvirheet ja yhteensopivuusongelmat huomataan helpommin. Näin ne eivät siirry työmaalle aiheuttamaan viivytyksiä rakentamisessa.
- Suunnitteluratkaisujen kokonaisoptimointi

3. Vuoropuhelu ja suunnitelmien havainnollistaminen

- Asiantuntijoiden välinen vuorovaikutus ja päätöksenteko tehostuvat suunnitelmaratkaisuiden teknisen havainnollistamisen kautta (yhdistelmämalli)
- Esittelymallit (virtuaalimallit) parantavat suunnitelmien ymmärrettävyyttä vuoropuhelussa osallisten suuntaan, kuten asukkaille, sidosryhmille ja päättäjille

4. Työmaaprosessien tehostaminen

- Rakentamistyön suunnittelun ja ohjauksen tehostuminen
- Koneautomaatio parantaa rakentamistyön tuottavuutta

2.10 Inframalli hankkeen eri vaiheissa

Suunnittelu

Esisuunnitteluvaiheessa pyritään löytämään kaikki toteuttamiskelpoiset vaihtoehdot ja alustavasti selvittämään niiden vaikutuksia liikenteeseen, ympäristöön, maankäyttöön ja kustannuksiin. Tarkasteluissa voi olla mukana myös sellaisia vaihtoehtoja, joita ei voida mallintaa 3D-malliksi, kuten joukkoliikenteen kapasiteetin lisääminen. Esisuunnitteluvaiheessa tuotettavan aineiston laatu voi vaihdella tapauksesta riippuen paljonkin. (Niskanen 2015)

Yleissuunnitteluvaiheessa on yleensä vielä mukana useampia päävaihtoehtoja. Yleissuunnittelun aikana päätetään siitä vaihtoehdosta, joka viimeistellään lopulliseen hyväksymiskäsittelyyn. Tämän suunnitteluvaiheen tavoitteena on mallintaa päävaihtoehdot paremman kustannus- ja vaikutusarvioinnin, yhteensopivuuden varmistamisen ja vaihtoehtojen helpomman havainnollistamisen vuoksi. (Niskanen 2015)

Tie-, rata- tai katusuunnitteluvaiheessa tavoitteena on mallintaa suunnitelman tekniset ratkaisut riittävällä tilavaraustarkkuudella ja tuottaa hallinnollisesti hyväksyttävä suunnitelma. Mallintaminen tukee havainnollistamista, kustannusten ja vaikutusten arviointia sekä yhteensopivuuden ja aluevarausten varmistamista. (Niskanen 2015)

Rakennussuunnitteluvaiheessa tuotetaan kohteen rakentamisessa tarvittava aineisto. Kaikki tekniset yksityiskohdat ratkaistaan ja suunnitellaan tässä vaiheessa. Rakennussuunnitteluvaiheessa mallintaminen tukee havainnollistamista, yhteensovittamista, mää-

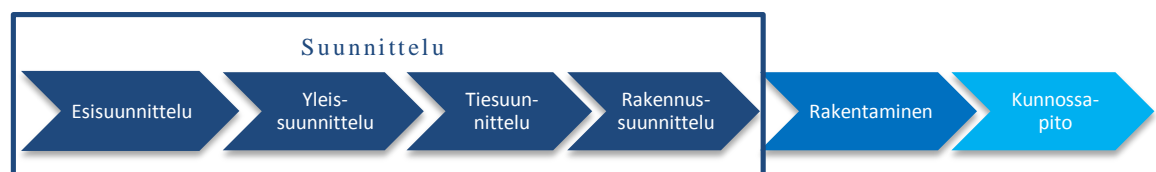
rälaskentaa, työmaan hankintoja, aikataulutusta, mittaus-, laadunvarmistus- ja koneohjaustoimintaa. Tämän vaiheen tavoitteena on tuottaa yhteen sovitettu, virheetön ja kattava malli. Mallissa rakenteet, rakenneosat ja -kerrokset esitetään kaikkine yksityiskohtineen. Tällöin rakennussuunnitelmamalli korvaa detaljipiirustukset ja niitä laaditaan vain tarvittaessa. Mallintaminen tehdään useilla tekniikkalajikohtaisilla suunnittelujärjestelmillä ja niiden välinen tiedonsiirto on myös mahdollista. (Niskanen 2015)

Rakentaminen

Suunnittelua tehdään myös rakentamisvaiheessa vaihtelevassa laajuudessa riippuen muun muassa urakkamuodosta. Rakennussuunnitteluvaihe on tuottanut eri tekniikkalojen suunnitelmat mallipohjaisina ja niistä laaditun yhdistelmämallin. Tästä kokonaisuudesta tuotetaan suunnitelmätietoa rakentamisen tarpeisiin esimerkiksi koneohjaukseen ja paikalleen mittaukseen. Rakentamisen edetessä myös lähtötiedot tarkentuvat. Nämä ja suunnitelman muutostarpeet toimitetaan suunnittelijalle, joka tekee muutokset ja päivittää suunnitelma-aineiston ja yhdistelmämallin. (Niskanen 2015)

Kunnossapito

Toteutuneesta kohteesta tehty kattava inframalli on hyödyllinen käytönaikaisia tarpeita varten. Samalla se toimii myös hyvänä lähtötietona, kun kohteeseen pitää tehdä erilaisia muutoksia. Toteumamalliin voidaan lisätä kunnossapidon tarvitsema tieto, jolloin siitä muodostuu eräänlainen tietovarasto eli huoltokirja. Tietomallia voidaan käyttää tietovaraston käyttöliittymänä, jolloin kaikki kunnossapitotöissä tarvittava tieto on sidottu yhteen paikkaan ja näin tiedon saavutettavuus paranee. Ensimmäiset mallipohjaiseen toimintaan soveltuvat hankkeet ovat tyypiltään perusparannuksia, kuten uudelleenpäällystyksiä. (Niskanen 2015) Kuvassa 12 on kuvattu inframallin käyttöä eri hankevaiheissa.



Kuva 12. Inframalli hankkeen eri vaiheissa. (Liikennevirasto 2014, muokattu)

2.11 Mittaus- ja mallinnusohjeiden tarkastelua

Tässä luvussa tarkastellaan yleisellä tasolla seuraavia ohjeita: Tie- ja ratahankkeiden maastotiedot, mittausohje (Liikenneviraston ohjeita 18/2011) sekä Yleiset inframallivaatimukset 2015, osa 3 (Lähtötiedot) ja osa 4 (Inframalli ja mallinnus hankkeen eri suunnitteluvaiheissa). Tarkoituksena on selvittää, miten nämä ohjeet ”keskustelevat”

keskenään toistensa kanssa. Taustalla tässä on ajatus, että nykyistä mittausohjetta tul-tai-siin jossain vaiheessa päivittämään niin, että siinä ohjeistettaisiin maastomallin laatimi-sen yhteydessä laserkeilattujen kohdeympäristön rakenteiden ja järjestelmien (esimer-kiksi portaalit) mallintamisesta kolmiulotteiseen muotoon (esimerkiksi 3D-objekti). Näin saataisiin nykyistä monipuolisempaa ja havainnollisempaa aineistoa lähtötietomal-liin ja siten koko inframallintamiseen.

Maastotietojen mittausohjeissa on kuvattu tie- ja ratahankkeiden suunnittelussa tarvitta-vat tiedot, kuten maastomittaukset, mittauksen tekemisen ohjeet, laatuvaatimukset ja laaduntarkastusmenettelyt. Mittausohjeesta löytyvät myös maastomalliin liittyvät tiedot, kuten sen tietosisältö ja laatuvaatimukset. (Liikennevirasto 2011)

Inframallintamisessa tarvittavat lähtötiedot on kuvattu YIV-ohjeissa osassa 3, Lähtötie-dot. Ohjeessa määritellään infrahankkeita varten muodostettavan lähtötietomallin sisältö sekä sisällölle ja mallin muodostusprosessille asetettavat vaatimukset. Lähtötietomallin yhtenä tietosisältönä on muun muassa maastomalliaineisto. Lähtötiedot-ohjeissa viita-taan noudattamaan maastomallien laatimisessa edellä mainittua maastotietojen mit-tausohjetta. (Liukas ja Virtanen 2015) Osassa 4 (Inframalli ja mallinnus hankkeen eri suunnitteluvaiheissa) käsitellään teiden, ratojen, katujen ja puistojen mallinnusvaati-muksia suunnitteluvaiheissa ennen rakentamiseen tähtäävää suunnittelua. Ohjeessa myös esitetään tietomallin tietosisältö hankkeen eri suunnitteluvaiheissa. (Janhunen et al. 2015)

Kuten jo aiemmin edellä kerrottiin, niin kartoituskohteita ei viedä lopullisessa maasto-mallissa maanpinnan kohteiksi, vaan ne sijaitsevat kartoituspinnalla eli niin sanotulla ”9-pinnalla” (Liikennevirasto 2011). Tarvittaessa ne saadaan tuotua myös varsinaiseen maastomalliin. Kohteiden tuoma lisäinformaatio ja -arvo eivät ole kuitenkaan kolmi-ulotteisuuden näkökulmasta kovin suuria, koska kohteet mitataan pääsääntöisesti aina maanpinnasta (ellei ohjeissa ole muuta esitetty). Tällöin esimerkiksi liikennemerkki kuvautuu maastomallin maanpintaan pisteenä tai kahden pylvään portaalin tapauksessa pelkkänä viivana. Kartoituskohteita voidaan kuitenkin havainnollistaa karttasymboleilla ja 3D-näkymässä niille voidaan sijoittaa erilaisia vakiosymboleja.

Kartoituskohteilta on tiedossa niiden tasosijainti- ja korkeustieto (korkeus maanpinnas-sa). Sen sijaan sitä ei tiedetä, kuinka pitkä on esimerkiksi valaisinpylväs tai muu vastaa-va kohde. Tärkeää olisi nimenomaan tietää, paljonko on tämän valaisinpylvään pituus eli korkeus maanpinnasta pylvään ylimpään kohtaan. Tässä mielessä kartoituskohteilta puuttuu niin sanotusti kolmas ulottuvuus. Inframallintaminen ja -malli tarvitsevat kui-tenkin juuri kohteiden kolmiulotteista tietoa. Tätä taustaa vasten nykyinen maastotieto-jen mittausohje ei palvele inframallintamisen kaikkia tavoitteita. Ohjeet eivät ”keskuste-le” toistensa kanssa ainakaan tässä mielessä.

YIV-ohjeissa viitataan muun muassa lähtötietojen osalta maastotietojen mittausohjeeseen. Lähtötiedot-ohjeessa (osa 3) on asetettu *maastomalliaineistolle* vaatimuksia esimerkiksi mittausperustan pisteille. *Rakenteiden ja järjestelmien* kohdalla on asetettu seuraavia vaatimuksia: rakenteiden mallintamisessa tulee tasot ja objektit litteroida voimassa olevan Infra-nimikkeistön mukaan sekä eri kohteiden tai objektien mallinnustarkkuus ja -tapa on kirjattava selkeästi tietomalliselostukseen. (Liukas ja Virtanen 2015) Molempien edellä mainittujen aineistojen kohdalla viitataan maastotietojen mittausohjeeseen, joten tässä suunnassa ohjeet ”keskustelevat” keskenään.

Osassa 4 (Inframalli ja mallinnus hankkeen eri suunnitteluvaiheissa) käsitellään teiden, ratojen, katujen ja puistojen mallinnusvaatimuksia eri suunnitteluvaiheissa ennen rakentamiseen tähtävästä suunnittelusta. Lisäksi kyseisessä ohjeessa esitetään tietomallin tietosisältö hankkeen eri suunnitteluvaiheissa. (Janhunen et al. 2015) Ohjeesta saa viitteitä siihen, että mitä mahdollisia eri kohteita voisi olla hyödyllistä mallintaa kolmiulotteiseen muotoon maastomallin tuottamisen yhteydessä.

Ohjeessa kerrotaan muun muassa, että tietomallintamisen tarkkuustaso riippuu hankkeen suunnitteluvaiheesta, suunnittelualan tekniikkalajimallista, tietomallien hyödyntämistarpeista ja lähtötietojen eli lähtötietomallin tarkkuustasosta. Pääsääntöisesti tarkkuustaso määräytyy kuitenkin hankkeen suunnitteluvaiheen ja suunnitteluohjeissa määrättyjen vaatimusten mukaan. Eri kohteille (rakennusosille) on määritetty suunnitteluvaihekohtaiset mallinnustarkkuudet, jotka on esitetty osan 4 liitteessä 1. Siinä mallinnettavat rakenneosat on jaoteltu InfraBIM/Infra 2015 rakennusosanimikkeistön mukaisesti. (Janhunen et al. 2015) Taulukossa 2 on esitetty liitteen 1 mukaisia mallinnustarkkuustasoja.

Taulukko 2. Mallintamisen tarkkuustasot. (Janhunen et al. 2015)

Mallinnustaso	Mallinnustarkkuus
0	Lähtökohtaisesti ei mallinneta. Voidaan sopia hankekohtaisesti.
1	Mallinnetaan osan ulkopinnat. Ei vaadita tilavuusominaisuuksia, 2D-pinta, aluerajaus tai taiteviiva riittää.
2	Mallinnetaan osat 3-ulotteisina kappaleina, pintoina tai taiteviivoina. Malli toimii määrälaskennan perusteena, mutta tarkentuu jatkosuunnittelussa. Objektien ominaisuustiedoista kerrotaan vain ko. suunnitteluvaiheessa olennaiset asiat.
3	Mallinnetaan osat kokonaisuudessaan. Sisältää täydellisen kuvauksen rakenteesta. (Tarvittavat ominaisuustiedot on kerrottu YIV-ohjeiden osissa 5–7)
H	Mallinnus ja sen tarkkuustaso sovitaan hankekohtaisesti.

Ohjeessa on lisäksi esitetty, että millä eri tavoilla mallinnettavaa rakennusosan geometriaa voidaan esittää. Esitysmuotoon vaikuttaa muun muassa rakennusosan tyyppi ja suunnitteluvaiheen kyseiselle rakennusosalle asettamat vaatimukset. Seuraavassa on esitetty mahdollisia esitysmuotoja (Janhunen et al. 2015):

- piste (koordinaatit, rakennusosan tilavuus- ja muut ominaisuudet esitetään metatietona)
- 2- tai 3-ulotteinen aluerajaus
- 3-ulotteinen pinta, joka koostuu 3D-taiteviivoista
- 3-ulotteinen kappale (tarvittaessa esitetään useamman pinnan yhdistelmänä)
- mallinnustasosta riippuen 2D- tai 3D-taiteviiva
- geometria (linjaus ja tasaus)
- verkostomalli

Ohjeessa on todettu osuvasti, että ”...*vaikka aikaisessa suunnitteluvaiheessa ei rakennusosien geometrioiden esittämiseltä edellytetä kaikilta osin kolmiulotteisuutta, on hyvän mallinnuskäytännön mukaista esittää rakennusosille myös korkeustieto. Tällöin esimerkiksi havainnollisten esitysten tekeminen helpottuu.*” (Janhunen et al. 2015). Vaikka tuolla edellä mainitulla lauseella tarkoitetaan etupäässä suunnittelun aikaisia malleja, niin samaa periaatetta voitaisiin hyvin soveltaa jo lähtötietomalliin ja erityisesti sen maastomalli- sekä rakenteiden ja järjestelmien aineistoihin.

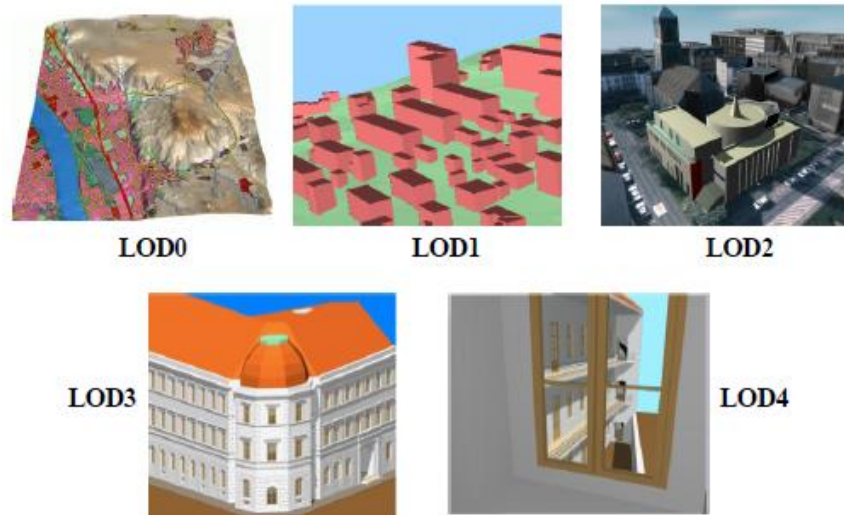
Tarkkuustaso

Mallinnettavien rakennusosien tarkkuustasojen määrittelyissä voitaisiin mahdollisesti soveltaa myös CityGML:n mukaista Level of Detail-ajattelua. Liukkosen (2015) mukaan CityGML (City Geography Markup Language) on avoin kansainvälinen standardi 3D-kaupunkimallien tallentamiseen ja tiedonsiirtoon. CityGML mahdollistaa tärkeimpien kaupunkiympäristön topografisten kohteiden geometrysten, topologisten, semanttisten ja visuaalisten ominaisuuksien määrittelyn viidellä eri tarkkuustasolla (Level of Detail, LOD). Tarkkuustasoista käytetään usein myös termiä yksityiskohtaisuuden taso.

CityGML:n tarkkuustasot on luokiteltu viiteen eri tasoon, LOD0–LOD4. Tasojen tarkkuuksien kasvaessa kohteiden geometriset ja temaattiset yksityiskohdat lisääntyvät ja tällöin myös mallin tarkkuus kasvaa. LOD0-tarkkuustasolla on yleistetyintä tietoa eri kohteista ja vastaavasti LOD4-tasolla on tarkinta ja yksityiskohtaisinta tietoa. (OGC City Geography Markup Language (CityGML) Encoding Standard 2012, Liukkosen 2015 mukaan)

LOD0 on pohjimmiltaan digitaalinen maastomalli, jonka päälle voidaan asettaa havainnollisuuden lisäämiseksi ilmakuva tai kartta. LOD1-tasolla rakennukset on esitetty suorakulmioina ja niiden katot ovat tasoja. LOD2-tasolla rakennuksilla on esimerkiksi erilaisia kattomuotoja sekä niihin saattaa lisäksi kuulua jonkinlaisia pintatekstuureja ja

kasvillisuuskuvauksia. LOD3-tason malli on tarkka arkkitehtuurimalli, joka sisältää muun muassa yksityiskohtaiset katto- ja seinämuodot sekä mahdollisesti ulko-ovet ja ikkunat. LOD4-taso sisältää edellisten lisäksi rakennusten sisätilat, kuten huoneet, sisä-ovet, portaat ja huonekalut. (OGC City Geography Markup Language (CityGML) Encoding Standard 2012, Liukkonen 2015 mukaan) Kuvassa 13 on havainnollistettu eri tarkkuustasoja.



Kuva 13. Tarkkuustasot LOD0–LOD4. (OGC City Geography Markup Language (CityGML) Encoding Standard 2012, Liukkonen 2015 mukaan)

Tällaista Level of Detail-ajattelua voitaisiin siis mahdollisesti soveltaa myös pistepilvestä mallinnettavien kohteiden tarkkuuksien määrittelyissä. Geometrisen kuvauksen yksityiskohtaisuutta voitaisiin esittää esimerkiksi valaisinpylvään osalta seuraavasti (Liukas 2015b):

- LOD0: piste (valaisinpylväs)
- LOD1: piste (valaisinpylväs ja ominaisuudet)
- LOD2: viiva (pystyviiva tai rautalankamalli ja ominaisuudet)
- LOD3: ulkopinnat ja ominaisuudet
- LOD4: yksityiskohtineen ja ominaisuudet

3. TUTKIMUSMENETELMÄT JA AINEISTO

Tutkimusmenetelmänä olivat kirjallisuusselvitys ja asiantuntijahaastattelut. Kirjallisuusselvityksessä perehdyttiin aiheen kannalta olennaisiin ja tärkeisiin käsitteisiin sekä teorioihin. Kirjallisuusselvityksen avulla saatiin käsitys siitä, mitä aiheesta on kirjoitettu aiemmin. Tämän pohjalta on muodostettu perusymmärrys tutkittavasta aiheesta.

Haastatteluihin pyrittiin valitsemaan mahdollisimman monipuolinen ja riittävän kattava edustus alan asiantuntijoita. Haastateltavia oli yhteensä 12 ja he jakaantuivat kahteen eri ryhmään. Ryhmä A:n jäseniä (10 henkilöä) haastateltiin laserkeilausaineiston hyödyntämisen näkökulmasta ja ryhmä B:n jäseniä (4 henkilöä) lopputuotteen eli maastomallin laadun varmentamisen ja raportoinnin näkökulmasta. Kaksi asiantuntijaa osallistui molempien ryhmien haastatteluihin.

Asiantuntijat edustivat sekä julkista että yksityistä sektoria. Heissä oli muun muassa tilaajia, suunnittelijoita ja kunnossapitäjiä. Tällaisen asiantuntijaryhmän haastattelusta on mahdollista saada laajaa näkökulmaa tutkittaviin aiheisiin. Haastatteluilla pyrittiin kartoittamaan heidän näkemyksiään laserkeilausaineiston hyödyntämisestä ja lopputuotteen laadun varmentamisesta. Haastattelut sopivat hyvin tämän kaltaisen tiedon keräämiseen, koska yleensä tällaista tietoa ei ole saatavilla kirjallisuudesta.

Haastateltavien valinnan jälkeen alettiin suunnitella haastattelukysymyksiä. Kysymysten tarkoituksena oli selvittää haastateltavien näkemyksiä ja ajatuksia laserkeilausaineistojen hyödyntämisestä ja lopputuotteen laadun varmentamisesta. Kysymysten muodostamisen ja myöhemmin haastatteluiden yhteydessä huomattiin, kuinka haastavaa on laatia niin sanottuja ”hyviä” ja ”oikeita” kysymyksiä. Kysymyksen asettelu ei saisi olla liian yleisellä tasolla, muttei toisaalta myöskään liian yksityiskohtainenkaan.

Kysymysten laatimisen jälkeen oli vuorossa haastatteluiden tekeminen. Kaikki haastattelut tehtiin yksilöhaastatteluina. Haastattelut tehtiin pääosin niin, että haastatteli matkusti haastateltavien luokse ja haastattelut suoritettiin kasvokkain. Kaksi haastattelua tehtiin puhelimen välityksellä ja kaksi videoneuvotteluyhteyden avulla. Haastattelut nauhoitettiin, jonka jälkeen ne litteroitiin tekstimuotoon lähes sanatarkasti. Asiantuntijoiden haastattelut menivät suunnitelmien mukaan ja niistä saatiin monipuolista ja hyödyllistä aineistoa tutkimuksen tueksi.

Kirjallisuusselvityksen ja asiantuntijahaastatteluiden yhteenvedon pohjalta saatiin tuloksia, joiden perusteella voitiin suurelta osin vastata työn alussa asetettuihin tavoitteisiin.

4. HAASTATTELUT

4.1 Laserkeilausaineiston hyödyntäminen

Haastatteluiden luottamuksellisuudesta johtuen haastattelutulokset on esitetty siten, että yksittäisten haastateltavien nimet eivät käy ilmi tekstistä. Taulukossa 3 on esitelty Ryhmä A:n haastateltavat.

Taulukko 3. Ryhmä A. (Laserkeilausaineiston hyödyntämisen näkökulma)

Pvm.	Haastateltava	Tehtävänimike	Työnantaja
9.6.2015	Kyösti Laamanen	projektipäällikkö	Sito Oy
10.6.2015	Juha Liukas	johtava konsultti	Sito Oy
11.6.2015	Hannes Mäkinen	maastotietoasiantuntija	Varsinais-Suomen ELY-keskus
15.6.2015	Ari Kuotesaho	tie- ja rakennussuunnitelma-vastaava	Pohjois-Pohjanmaan ELY-keskus
10.6.2015	Matti Ryyänen	tiensuunnittelun johtava asiantuntija	Liikennevirasto
10.6.2015	Sami Petäjä	hankinnan asiantuntija	Liikennevirasto
22.6.2015	Katri Eskola	hankinnan asiantuntija	Liikennevirasto
5.6.2015	Matti Piispanen	silta-asiantuntija	Liikennevirasto
9.6.2015	Manu Marttinen	työpäällikkö	NCC Roads Oy
8.6.2015	Sami Snellman	yksikönpäällikkö	Destia Oy

1. Minkälaista kokemusta sinulla on laserkeilausaineistojen käytöstä?

Osalla haastateltavilla oli useiden vuosien kokemusta laserkeilausaineistojen käytöstä, joita oli hankittu niin lentolaserkeilauksella kuin ajoneuvolaserkeilauksellakin. Kokemusta löytyi esimerkiksi laserkeilausaineistojen kilpailuttamisesta ja tarkastamisesta sekä laadun varmentamisesta rakentamisen jälkeen tehtävällä ajoneuvolaserkeilauksella. Ajoneuvolaserkeilausta oli kokeiltu myös eräässä ratahankkeessa, jonka pohjalta oli mallinnettu muun muassa voimajohtolinjoja ja valaisinpylväitä.

Osalla haastateltavista kokemusta oli taas hieman vähemmän. Heillä kokemukset liittyivät projekteihin ja kehityshankkeisiin, joissa oli tutkittu laserkeilauksen hyödyntämistä muun muassa ylläpidon hankkeissa, päällystyksen optimoinnissa, painumamittauksissa ja siltarakentamisessa.

Muutamilla haastateltavilla kokemukset liittyivät laserkeilauksen alkuaikojen ongelmiin. Eräs näistä ongelmista oli pistepilviaineistojen suuri koko. Koska aineistot olivat kovin raskaita, ne eivät oikein tahtoneet jaksaa ”pyöriä” tietokoneissa. Ohjelmistot tukeutuivat valtavan pistemäärän käsittelyyn. Toinen ongelma oli, ettei suunnittelijalle tulevaa aineistoa oltu juurikaan tulkittu tai luokiteltu. Alkuun oli ajateltu, että suunnittelija tulkitseisi itse ilmakuviavien avulla esimerkiksi taiteviivat. Niissäkin aineistoissa joissa tulkintaa oli tehty, esiintyi erilaisia puutteita ja virheitä. Liikenneviraston maastotietojen mittausohjeen alkuaikoina oli ongelmia, ettei maastomalli oikein tahtonut asettua maastoon paikoilleen. Tämä johtui ilmeisesti tukipisteistä. Maastomallin suhteellinen tarkkuus saattoi olla hyvä, mutta absoluuttisen tarkkuuden kanssa oli ongelmia. Virheitä paljastui vasta rakentamisen yhteydessä, mikä tiesi ongelmia koko hankkeelle. Suunnittelijan näkökulmasta laserkeilausaineiston pohjalta tuotetuissa maastomalleissa on ollut joskus ongelmia tarkkuuksien kanssa. Maastomalli on voinut näytöllä näyttää ”oikein” tehdyltä, mutta todellisuudessa tarkkuus on voinut olla mitä tahansa. Tästä johtuen aineistojen luotettavuus on ollut koetuksella useasti. Muita alkuaikojen ongelmia olivat muun muassa pistepilviaineistojen pienempi pistetiheys, kalibrointiongelmat ja tietynlainen epätarkkuus.

2. Miten olet hyödyntänyt laserkeilausaineistoja toiminnassasi?

Haastateltavat ovat hyödyntäneet laserkeilausaineistoja omissa toiminnoissaan usealla eri tavalla. Hyödyntämistä on tehty muun muassa suunnittelussa, kun on hankittu laserkeilauksella tuotettu maastomalli suunnittelun lähtötiedoiksi. Rakennushankkeissa pistepilviaineistoa on hyödynnetty siten, että toteutunutta yläpintaa on verrattu suunniteltuun yläpintaan, ja näin on saatu selville mahdolliset poikkeamat. Laadun tarkkailussa on käytetty pistepilviaineistoja hyväksi, kun tien poikkileikkauksesta on määritetty muun muassa painumia. On edistetty pilotointia eli ohjattu menetelmän käyttöä sellaisille kohteille, joissa laserkeilausaineistoista voisi olla hyötyä. Pistepilviaineistoja on hyödynnetty päällysteen tasausoptimoinnissa sekä pinta-alojen ja tilavuuksien määrittämisessä. MML:n laserkeilausaineistoa on hyödynnetty kuivatuksen suunnittelussa. Aineiston pohjalta on tehty muun muassa erilaisia virtausanalyyssejä, kun on haluttu selvittää vesien virtaussuuntia. Laserkeilausaineistoja on hyödynnetty niin ikään kanavan sulkuporttien mittauksissa. Näillä mittauksilla pyritään saamaan tietoa muun muassa siitä, onko sulkuporttien toiminnassa tapahtunut muutoksia. Ajoneuvolaserkeilauksella saatua aineistoa on hyödynnetty tien painumien mittauksiin. Yksi haastateltavista kiteytti hyödynnettävyyden hyvin osuvasti: *”Hyödynnettävyys tulee siitä, että laserkeilaus on nykyään käytetyin mittausmenetelmä. Haasteena on, että miten saadaan ohjeistettua hyödyntäminen. Laserkeilaus on nopea ja tarkka menetelmä, ja siitä pitäisi saada kaikki*

hyöty irti. Yritetään edistää sitä, että laserkeilausaineistojen käyttö olisi mahdollisimman joustavaa ja hyödynnettävyyttä olisi suuri. Pyritään tehokkuuteen sillä, että suositaan edullisia menetelmiä.”

3. (Näytetään haastateltaville esimerkkejä pistepilviaineistosta ja raakadatasta, esimerkkipikuvat on esitetty liitteessä 1) Mitä tietoja, tasoja tai kohteita voit mahdollisesti hyödyntää näistä näkemistäsi aineistoista?

Tähän kohtaan saatiin myös useita erilaisia vastauksia niistä tiedoista, tasoista ja kohteista, joita laserkeilausaineistoista voitaisiin mahdollisesti hyödyntää. Hyödynnettävistä kohteista esiin nousivat muun muassa liikennemerkkit, pylväät, opasteet, rakennukset, johdot, ajoratamerkinnot, kaiteet, aidat, laitekaapit, puut ja muut sellaiset kohteet, joista on esimerkiksi suunnittelijalle hyötyä. Pistepilviaineistoa voisi mahdollisesti hyödyntää liikennemerkkien kuntoarvioinnissa, viitoitusohjelman suunnittelussa tai siltojen mallintamisessa.

Raakadatasta olisi hyvä saada irti erilaisia tunnuslukuja, joiden avulla saataisiin seulottua esiin esimerkiksi huonokuntoisimmat tiekohteet tarkempaa tarkastelua varten. Näitä tarkasteltavia asioita voisivat olla: missä kohtaa sivukaltevuus on pielessä, missä on pituussuuntainen heitto, minkälaista uraisuutta kohteessa mahdollisesti on ja kuivatuksen kunnostuksen yhteydessä nähtäisiin miten ja minne vesi virtaa. Muita raakadatasta irrotettavia tietoja voisivat olla ojien syvyydet, vaarallisten heittojen sijainnit, reunapainumat ja palteet. Raakadataa voisivat hyödyntää esimerkiksi tiemestarit määrittäessään erilaisia näkemiä. Tilaaajan edustajalle eli projektipäällikölle raakadatasta voisi olla hyötyä olemassa olevan ympäristön havaitsemiseen ja ilmentämiseen. Tilajapuolella hyödyntäminen painottuukin ehkä enemmän katselun puolelle.

Suunnittelijoille pistepilviaineistot tarjoavat paljon yksityiskohtaista informaatiota. Esimerkiksi ilmajohdot näkyvät pistepilviaineistossa jopa langan tarkkuudella. Näin johtolinjoista saa varsin hyvän käsityksen jo pelkästään pistepilviaineistoa katsomalla. Lisäksi suunnittelijoille olisi tärkeää saada tietää eri kohteiden, kuten voimajohtolinjojen korkeustietoja. Muutamissa hankkeissa, joissa oli tehty mallipohjaista suunnittelua, oli pistepilviaineistosta irrotettu joitakin kohteita. Näiden mallinnettujen kohteiden korkeudet oli arvioitu. Esille nousivat myös, että suunnittelijat alkaisivat suunnitella suoraan pistepilviaineistoon ja että suunnittelijalle aineistosta olisi suurin hyöty.

4. Voisiko laserkeilausaineistoa (pistepilveä) hyödyntää sellaisenaan osana toimintaasi?

Tähän kysymykseen saatiin vastauksia sekä puolesta että vastaan. Osa haastateltavista oli sitä mieltä, että pistepilveä voisi hyvinkin hyödyntää erilaisissa tapauksissa ja olipa muutamissa kohteissa aineistoa kokeilumielessä jo hyödynnettykin. Muutamien haastateltavien mielestä pistepilvestä taas ei ole välttämättä hyötyä heidän toiminnassaan.

Suunnittelussa pistepilviaineistoja oli hyödynnetty useammassakin eri hankkeessa erityisesti koviin pintojen osalta, kun oli esimerkiksi tarkasteltu tien poikkileikkauksen muotoa ja suunniteltu tien ylintä kerrosta. Myös päällysteen tasausoptimoinnissa oli hyödynnetty pistepilviaineistoja. Ajoneuvolaserkeilaus aineistoa voidaan hyödyntää päällystystöissä, kun tehdään esimerkiksi koneohjausmallia. Pistepilviaineistoja voitaisiin hyödyntää muun muassa alustavassa suunnittelussa ja tulkitun pistepilviaineiston tausta-aineistona. Kanavien keilausten yhteydessä pistepilviaineistoja on hyödynnetty eroosion arvioinnissa. Lisäksi aineistoista on paljastunut muun muassa uponneita tukkinnippuja, autoja ja muita kohteita, joista voi olla haittaa vesiliikenteelle. Nämä kohteet ovat erottuneet ja näkyneet selvästi pistepilviaineistoissa. Aineistoja voidaankin hyödyntää sellaisenaan juuri katselussa ja havainnoinnissa.

Osa haastateltavista oli siis sitä mieltä, että pistepilviaineistoja ei voisi hyödyntää heidän toiminnassaan, ainakaan sellaisenaan. Aineistosta pitäisi saada irti analysoitua tietoa, jotta siitä olisi tilaajalle hyötyä, pelkkä raakadata itsessään ei riitä. Lisäksi oltiin sitä mieltä, että pistepilvestä ei ole välttämättä hyötyä perusväyläsuunnittelussa, jossa vaakaja pystygeometria suunnitellaan erikseen. Ristiriitaa ja hämmennystä voi aiheuttaa se, että mikä on mitattua tietoa ja mikä käsin mallinnettua tietoa. Pistepilviaineisto pitäisi olla myös jollain lailla koodattua ja normiformaateissa. Esille nousi myös ajoneuvolaserkeilaus aineistojen suuri koko. Suunnitteluohjelmistot tukehtuvat sellaiseen tietomäärään. Ohjelmistoilla ja tietokoneilla ei ole vielä tarpeeksi kapasiteettia, jotta ne voisivat hyödyntää tehokkaasti pistepilviaineistoa.

5. Mitä vahvuuksia koet laserkeilausaineistojen käytöstä toiminnassasi?

Haastateltavat löysivät useita laserkeilausaineistojen vahvuuksia. Yksi aineistojen vahvuus on datan suuressa määrässä, eli aina tarvittaessa on saatavilla käyttöön tiheä pistepilvi. Tähän liittyy myös se, että laserkeilausaineistoon voidaan aina palata takaisin ja sieltä voidaan irrottaa juuri sitä tietoa, jota sillä hetkellä tarvitaan. Aineistoja voi myös muokata käyttötarpeen mukaan.

Aineistojen vahvuus tulee siitä, että pistepilvestä saadaan esimerkiksi rakennuksien muotoja ja sähkölinjojen korkeuksia sekä muita niin sanotun ”9-pinnan” kartoituskohteita paljon monipuolisemmin kuin pelkästä maastomallista. Näin mallintamiseen saadaan parempi lähtökohta, koska laserkeilausaineistosta saadaan tarkasti erilaisia yksityiskohtia. Esimerkiksi pylväät voidaan mallintaa riittävän tarkasti, eikä niitä tarvitse enää mitata maastossa. Laserkeilauksella päästään hyvinkin muutaman senttimetrin tarkkuuteen eli maastotietojen mittausohjeen mukaiseen tarkkuuteen, kunhan valmistelut tehdään huolellisesti.

Laserkeilausaineistot antavat sellaisia mahdollisuuksia ja lisäinformaatiota, joita ei välttämättä muuten olisi käytettävissä. Niiden informaation sisältö on valtava. Aineistot auttavat ennakoimaan ja havainnoimaan asioita esimerkiksi ennen tarjouksen jättämistä.

Muutamissa vastauksissa tuli esille laserkeilauksen kustannustehokkuus verrattuna perinteiseen maastomittaukseen hankkeen koosta riippuen. Lisäksi mittausmenetelmä on nopea ja aineistojen päivitettävyyden on helppoa.

Laserkeilausaineistojen vahvuutena nähtiin myös turvallisuusnäkökulma. Tästä hyvä esimerkki on ajoneuvolaserkeilaus, jossa mittaajan ei enää tarvitse olla turvattomana liikenteen seassa tekemässä mittauksia, vaan hän voi toimia turvallisesti ajoneuvosta käsin muun liikenteen mukana.

Myös päällystystöissä aineistojen tarkkuus nähdään vahvuutena. Laserkeilausaineistosta saadaan tarkkaa tietoa muun muassa tien pinnan muodosta, sivukaltevuudesta ja urautumisesta. Tämä mahdollistaa tarkan päällysteen tasausoptimoinnin. Ajoneuvokeilauksen avulla saadaan selville jo syntyneet reiät ja aineistosta havaittavat halkeamat indikoivat alkavaa rappeutumista. Kun näistä muutoksista olisi tietoa jo etukäteen, niin voitaisiin tehdä ohjelmoituja täsmäpaikkauksia ennen varsinaista reikiintymistä.

Lisäksi aineistoista saadaan tarkkaa lähtötietoa koneohjaukseen. Vahvuutena pidettiin myös sitä, että aineistojen avulla saadaan tietoa sen hetkisestä tilanteesta.

6. Mitä haasteita koet laserkeilausaineistojen käytöstä toiminmassasi?

Haastateltavien mielestä laserkeilausaineistojen haasteita ovat muun muassa datan suuri määrä, joka tosin edellisessä kysymyksessä koettiin toisaalta vahvuudeksi. Pisteiden lukumäärä pitäisi olla järkevä ja suhteessa käyttötarkoitukseen.

Niin sanotut pehmeät pinnat ovat vaikeita kohteita, eikä niistä tahdo saada kovin tarkkaa tietoa. Nämä kohteet sekä muut rakenteet ja laitteet, joita ei saada laserkeilausaineistosta, on käytävä mittaamassa paikan päällä maastossa.

Haasteena nähtiin se, että saadaanko aineistosta sitä informaatiota, jota tarvitaan ja josta on hyötyä sekä, miten tieto tarjotaan käyttäjälle, jotta aineistojen käyttö olisi mahdollisimman helppoa ja vaivatonta.

Laserkeilaus on mittausteknisesti haastava menetelmä. On oltava hyvin huolellinen ja tiedettävä mitä tekee, jotta aineistojen tarkkuus saadaan kohdalleen. Jos näin ei toimita, voi helposti tulla kymmenien senttien tai jopa puolen metrin virheitä ja heittoa. Tiedonkeruu ja myös sen laskenta on tehtävä huolellisesti. Lisäksi maastossa on vielä suoritettava kalibrointimittausta. Ajoneuvo- ja maalaserkeilauksessa on vielä joitakin ”sudenkuoppia”, jotka täytyy osata ottaa huomioon. Kaikilla toimijoilla ei ole välttämättä riittävää ymmärrystä ja osaamista käytettävästä tekniikasta.

Tilaajien haasteet kulminoituvat aineistojen laadunhallintaan ja sen osoittamiseen. Tilaajalla ei ole aina mahdollisuutta tarkastaa kaikkea aineistoa. Siihen ollaan yhä enemmän menossa, että tilaaja vastaanottaa pelkät dokumentit, joiden mukaisesti on uskotta-

va, että toimittaja on laadun varmistanut. Pitäisi löytää yhteinen menetelmä niille toimille, joilla voitaisiin varmistua siitä, että kyseinen aineisto on hyvin tuotettu ja että sillä on kaikkien luottamus. Kaikilla pitäisi olla tieto siitä, että miten laatu on todettu. Muita tilaajapuolen haasteita ovat muun muassa se, että tilaajan on osattava määrittää vaatimukset sille, että mitä analysoitua tietoa aineistoista halutaan.

Haasteita on ollut laserkeilausaineistoista tuotetuissa maastomalleissa. Niissä on ollut puutteita, tarkkuuksissa on ollut epäselvyyksiä ja selkeästi on ollut jopa virheitä. Suurimpana haasteena nähtiinkin aineiston oikeellisuus.

Muita haastateltavien mielestä aineistojen käyttöön liittyviä haasteita ovat muun muassa korkeuden tarkkuus, mahdolliset väärät kaiut, jotka voivat tuottaa vääriä tulkintoja, aineistojen arkistointi ja sen omistus. Lisäksi pistepilviaineistossa pitäisi olla metatietoa esimerkiksi siitä, milloin on mitattu, millä menetelmällä ja millä tarkkuudella.

7. Minkälaisia mahdollisuuksia näet laserkeilausaineistojen hyödyntämisessä?

Haastateltavilta saatiin erilaisia näkemyksiä laserkeilausaineistojen hyödyntämismahdollisuuksista. Mahdollisuuksia nähtiin muun muassa tarkkuuteen sekä suunnitelmien esittämiseen ja havainnointiin liittyen. Mallipohjaisen suunnittelun näkökulmasta on hyvä, että aineistoa on laajasti käytettävissä. Aineistojen pohjalta on mahdollista tehdä erilaisia vertailuja. Näin saadaan selville mahdolliset poikkeamat.

Olisi hyvä, jos MML:n laserkeilausaineiston pistetiheys kasvaisi, niin silloin niitä voisi hyödyntää nykyistä enemmän. Lisäksi Liikenneviraston ja ELY-keskusten välillä voisi tehdä enemmän yhteistyötä aineistojen hankkimisen suhteen.

Mitä muuta dataa aineistoista voisi mahdollisesti hyödyntää, kuin pelkästään koordinaattitietoa? Voisiko kaiuista tai intensiteetistä saada jotain uutta tietoa? Voisiko näiden tietojen pohjalta tehdä esimerkiksi jonkinlaista kuntoanalyysiä liikennemerkeistä? Voisiko aineistojen pohjalta tehdä jonkinlaista laskentaa esimerkiksi paljonko jokin rakenne painaa?

Laserkeilaus on tämän päivän mittausmenetelmä. Melkein minkälaista hanketta tahansa voidaan mallintaa laserkeilaamalla. Se on suhteellisen nopea mittausmenetelmä, jos pitää tehdä jotain vertailua tienpinnan muutoksista. Painumista ja urista olisi hyvä saada esimerkiksi jonkinlaista historiatietoa.

Yksi aineistoihin liittyvä mahdollisuus on optimoida ylläpidon toimenpiteitä nykyistä paremmin. Tällöin voidaan helpommin korjata sellaisia asioita, jotka jäisivät perinteisillä menetelmillä korjaamatta. Aineistot luovat uusia mahdollisuuksia tehostaa toimintaa, kuten koneohjauksen ja sitä kautta laadun parantumisen.

Raakadata voisi olla arkistoituna jossain tietyssä paikassa ja sieltä olisi mahdollista ottaa aineistoa käyttöön aina tarpeen mukaan. Tästä esimerkkinä voisi toimia tienpidon näkökulma, jossa koko Suomen tiestö laserkeilattaisiin ja aineistossa olisi tietoa muun muassa tien rakennekerroksien paksuuksista ja niiden sijainneista. Tällöin alusrakenteen yläpinnan korkeutta voisi verrata ojan pohjien korkeuksiin ja näin saataisiin tärkeää tietoa tien kuivatukseen liittyen.

Eräs aineistojen hyödyntämismahdollisuus on havainnollistaminen. Esimerkiksi tulvatilanteissa voitaisiin laserkeilata tulvan alle jääneitä alueita. Tästä aineistosta saataisiin selville, mitkä alueet jäävät veden alle, minne vesi valuu ja mahdollisesti muita kiinnostavia asioita. Aineistosta voitaisiin tehdä erilaisia tulvamallinnuksia ja -analyyssejä.

Laserkeilausaineistoja voisi hyödyntää esimerkiksi erilaisissa eroosiotarkasteluissa ja rakenteiden liikkeiden seurannassa, eli voitaisiin mallintaa ajassa tapahtuvaa muutosta. Laserkeilauksella saadaan mallinnettu nykytilanne, joka on hyvä asia, koska kaikista rakenteista ei välttämättä löydy minkäänlaisia piirustuksia saati malleja. Tällaista vanhan rakenteen, kuten sillan mallintamisesta saatua aineistoa voisi hyvin käyttää sillan tarkastuksessa apuna. Tämä malli voisi toimia myös korjaus- ja uudissuunnittelun pohjana.

Laserkeilausaineistot tuovat lisähyötyä, kun tarkastellaan ilmajohtoja, kasvillisuutta ja muita kohteita. Aineistot mahdollistavat sen, että voidaan entistä aiemmin ottaa huomioon erilaisia ympäristöön liittyviä näkökohtia. Hankekohtaisesti voidaan kohdistaa huomiota tiettyihin tärkeisiin asioihin, joita voidaan käyttää suunnittelussa ja rakentamisessa hyödyksi.

Laserkeilausaineistosta saadusta tien pintamallista pitäisi voida pystyä määrittämään paljon nykyistä paremmin tien korjaus- ja kuntotarpeita. Nykyisin erilaista tietoa saadaan pituusprofiileista ja sivukaltevuuksista. Tien 3D-pintamallissa on mahdollisuuksia ja potentiaalia aineistojen hyödyntämiseen. Pitäisi osata esimerkiksi määrittää tunnusluku tien pintamallista määritetyille tasaisuudelle.

Muita aineistojen mahdollisia hyödyntämiskohteita voisivat olla kuivatuksen suunnittelussa ja erilaisissa vesiliirtoriskien arvioinneissa.

Laserkeilausaineistot voisivat toimia hyvänä tarkistusmateriaalina, josta esimerkiksi suunnittelija voisi tarkistaa erilaisia häntä kiinnostavia asioita. Aineisto toimisi ikään kuin suunnittelijan maastonäkymänä.

8. Voisiko lähtötietojen tarpeisiin tuotetusta aineistosta olla jatkohyödyntämismahdollisuuksia suoraan sellaisenaan esimerkiksi kunnossapidon tarpeisiin tai elinkaaren myöhemmissä vaiheissa, ja jos on, niin minkälaisia?

Tämän kysymyksen kohdalla haastateltavilta tuli jälleen vastauksia sekä puolesta että vastaan. Osan mielestä lähtötietojen tarpeisiin tuotettua aineistoa voitaisiin hyödyntää myöhemmissä vaiheissa ja osa taas näki, ettei siitä olisi hyötyä.

Jatkohyödyntämismahdollisuuksia nähtiin muun muassa sellaisessa rakenteen parantamishankkeessa, jossa tien keskiosa jää ennalleen ja sen reunoja levennetään. Tällöin saataisiin tietää lähtötietoaineiston perusteella, että missä tien rakenteet tarkalleen ottaen sijaitsevat. Takuuajan jälkeen voisi muun muassa verrata onko runko painunut ja miten se käyttäytyy suhteessa reunoihin.

Myös kunnossapidossa voisi olla hyödyntämismahdollisuuksia. Säilyneistä ja säilyvistä olemassa olevista rakenteista ja järjestelmistä voitaisiin saada tärkeää tietoa ja aineistoa, kuten millainen portaali, millainen pylvä, onko puuta vai terästä ja millainen puu on kyseessä.

Muita hyödyntämismahdollisuuksia saattaisi olla esimerkiksi dokumentoinnissa tai jonkinlaisissa seurantamittauksissa. Lisäksi kunnilla voisi olla käyttöä tällaiselle aineistolle.

Useamman haastateltavan mielestä lähtötietojen tarpeisiin tuotetusta aineistosta ei olisi hyötyä muissa vaiheissa, koska se on tehty lähtökohtaisesti suunnittelun pohjaksi. Tätä mieltä oli useampi haastateltava. Tässä yhteydessä esiin nousi se, että varsinainen tien pintatieto voi vanheta äkkiä, joten siksikään lähtötietoaineistosta ei ole välttämättä hyötyä. Pintatieto on käytävä aina tarpeen mukaan mittaamassa uudelleen.

9. Mitä kohteita tai muutoksia olisi hyvä saada irrotettua laserkeilausaineistosta, jotta niiden sisältämää tietoa voitaisiin hyödyntää?

Haastateltavilta saatiin tähän kysymykseen vastauksia useista erilaisista kohteista ja muutoksista, joita voitaisiin irrottaa laserkeilausaineistoista ja hyödyntää niitä muussa yhteydessä. Muun muassa seuraavia kohteita ehdotettiin: lähimmät rakennukset, niiden seinä- ja räystäslinjat, ”9-pinnan” kohteet, kuten valaisinpylväät, liikennemerkkit, portaalit, metsän rajat, suurimmat puut, kasvillisuus, reiät ja tiemerkinnet. Yleensäkin kaikki varusteet, laitteet ja rakenteet, joita kyseiseltä alueelta sekä ympäristöstä löytyy. Varsinkin rautatiepuolelta löytyy hyvin monenlaista laitetta ja järjestelmää, jotka olisi hyvä saada irrotettua aineistosta.

Erilaisista muutoksista saatiin muun muassa ehdotuksia, että rakentamisen yhteydessä voidaan laserkeilata kallioleikkauksia tai tunneleiden suuaukkoja. Näin voidaan seurata muun muassa louhinnan toteutumaa. Samalla saadaan selville louhinnan mahdolliset ”ryöstöt” ja näin osataan varata riittävästi betonimassaa.

Tienpidon näkökulmasta mielenkiintoisia asioita ovat kuivatukseen ja päällysteen pintakuntoon liittyvät asiat, kuten ojien ja luiskien muutokset, virtaako vesi, tien pinnan muutos, eli mihin tulee painuma, urat, halkeamat, heitot sekä kaikki muut pinnan epäta-saisuudet olivat ne sitten poikki- tai pituussuunnassa. Yleensäkin olisi hyvä saada tietoa siitä, että miten tien pinta muuttuu ajassa.

10. Vaativatko nämä kohteet tai muutokset irrottamisen jälkeen joitain lisämäärittelyjä tai -toimintoja?

Muutamissa vastauksissa tuli esille, että kohteen, kuten räystäiden, valaisinpylväiden, portaalien, liikennemerkkien ja johtojen aineistosta irrottamisen jälkeen niiden korkeus-tieto pitäisi saada jotenkin selville. Myös reunakivien ylä- ja alareunojen korkeustiedot pitäisi saada määritettyä nykyistä paremmin.

Lisämäärittelyä voisi vaatia muun muassa pistepilviaineistosta irrotettujen kohteiden materiaalityyppien määrittäminen, kuten onko valaisinpylvään rungon materiaali puuta vai metallia. Samaan tapaan esimerkiksi ympäristösuunnittelija voisi tehdä lisämäärittelyä puustosta eli onko kyseessä havu- vai lehtipuu.

Lisätoiminnot voivat vaatia esimerkiksi laskentaa, jossa algoritmi laskee tunnusluvun, kuten heiton tai urasyvyyden haitallisuuden. Näille olisi ennalta määritetty absoluuttisia raja-arvoja, joita ei saisi ylittää. Näiden tietojen perusteella löydettäisiin sopivat kohde-ehdokkaat ylläpito- ja korjausohjelmaan. Kun kohde on päässyt suunnitteluun, niin silloin visualisoinnista on hyötyä ja sillä on arvoa. Tällöin pistepilveen olisi hyvä pystyä määrittämään uuden päällysteen tavoitetaso.

11. Millainen sijaintitarkkuus ja yksityiskohtaisuuden taso on pääasiallisesti käytämässäsi laserkeilausaineistoissasi?

Pääasiassa haastateltavien käyttämässä laserkeilausaineistoissa tarkkuustaso on Liikenneviraston maastotietojen mittausohjeen mukainen tarkkuus. Sieltä saadaan muun muassa kriteerit kovalle ja pehmeille pinnoille. Esille nousi myös se, että ne kohteet, joita ei saada aineistoista, on käytävä mittaamassa paikan päällä maastossa, kuten ojien pohjat ja rummut.

Haastateltavilla oli erilaisia tarpeita tarkkuuksien osalta. Osalle on tärkeämpää absoluuttinen tarkkuus ja osalle taas suhteellinen tarkkuus. Tämä selittyy sillä, että erilaisissa käyttökohteissa ja -tapauksissa tarvitaan erilaista tarkkuutta.

Osa haastateltavista oli sitä mieltä, että olennaista on nimenomaan suhteellinen tarkkuus eli tiedetään esimerkiksi tien pinta tarkasti. Heille tien pinnan absoluuttisella korkeustiedolla ei ole välttämättä niin suurta merkitystä. Tien pinnan osalta on merkitystä sillä, onko esimerkiksi päällysteen paksuus 1 cm vai 2 cm. Merkitys tulee esille siinä vaiheessa, kun aluksi on suunniteltu tehtävän uutta päällystettä 4 cm ja myöhemmin ilmenee, että uuden päällysteen tarve onkin 5 cm. Tällä on huomattavasti kustannuksia kasvattava vaikutus.

Asfaltin laatuvaatimuksissa kriteerit ovat melko tiukat, muun muassa alku-uran syvyys ei saa ylittää 3 mm/100 m. Pituussuunnassa tarkkuus on 1 m ja syvyysuunnassa 5 mm. Muutos, kuten uran alku ja loppu pitäisi pystyä selkeästi määrittämään, jotta työkonetietää aloittaa oikeasta kohdasta. Lisäksi ylläpidossa on tärkeää tietää myös se, että missä tierekisteriosoitteessa työskennellään. Esimerkiksi tiemerkitöjen yhteydessä merkitystä on sillä, missä kohtaa tietä viiva kulkee sekä sijaitsee sivusuunnassa ja pituussuunnassa.

Osan mielestä olennaista on absoluuttinen tarkkuus. Muun muassa suunnittelun näkökulmasta absoluuttisella tarkkuudella on merkitystä. Maastomallin tarkkuustason tietäminen on erittäin tärkeää. Keskimäärin laserkeilausaineistojen tarkkuus on noin 2–5 cm. Jos keilaus suoritetaan ilmasta, niin korkeuden saaminen tarkasti tuottaa kaikista eniten vaikeuksia. Tasokoordinaatit saadaan puolestaan helpommin.

Rakenteiden liikkeiden seurannassa vaaditaan senttimetriluokan tarkkuutta. Teräsrakenteiden osalta senttikin voi joskus olla liikaa.

12. Millainen sijaintitarkkuus ja yksityiskohtaisuuden taso olisi toiminnoillesi tarpeeksi riittävä laserkeilausaineistosta irrotetuille kohteille tai muutoksille?

Tähän kysymykseen tuli samansuuntaisia vastauksia kuin edellisessäkin kysymyksessä eli pääosalle haastateltavista riittää Liikenneviraston maastotietojen mittaushjeen mukainen tarkkuus. Riittävä sijaintitarkkuus ja yksityiskohtaisuuden taso riippuvat kuitenkin muun muassa kohteen ympäristöstä eli ollaanko tie-, rata- vai kaupunkiympäristössä. Kaupunki- ja rataympäristössä voi olla tiukempia vaatimuksia esimerkiksi kohteissa, joissa on kyse siltojen alituskorkeudesta. Suunnittelija määrittelee myös, minkälaista tarkkuutta hän tarvitsee ja tarpeen mukaan teettää lisämittauksia.

Päällysteen urasyvyys kasvaa noin 2 mm vuodessa ja vilkkaimmilla liikenneväylillä jopa noin 3 mm. Viiden vuoden aikana kasvua tulee yhteensä noin 10–15 mm. Tällaisia urasyvyyden muutoksia ei välttämättä pystytä laserkeilauksella tuomaan esille. Kohdesuunnittelussa muutokset jo ehkä näkyvätkin, kun urasyvyys alkaa olla suurempi kuin 15 mm.

Muutamit haastateltavat olivat sitä mieltä, että noin 2 cm:n tarkkuus olisi riittävä. Tällainen 2–3 cm:n tarkkuus onkin laserkeilausaineistolle ihan realistinen vaatimus, kunhan valmistelevat työt tehdään huolella ja tarkoin. Sen sijaan takymetrillä ohjattuun tiehöylään tarvitaan millimetriluokan sijainti- ja korkeustietoa. Opastavassa koneohjauksessa riittää ajoneuvolaserkeilauksen tarkkuus. Yhden haastateltavan kohdalla esille nousi, että sijaintitarkkuus ja yksityiskohtaisuuden taso voisivat määräytyä esimerkiksi kuivatuksen perusteella, jolloin riittäisi noin 5 cm:n tarkkuus. Maamassojen yhteydessä riittäisi 10 cm:n tarkkuus, mutta rakenteiden osalta pitäisi päästä millimetriluokan tarkkuuteen.

Maastotietojen mittausohjeessa on kuvattu toleranssit ja ne ovat tarpeeksi riittäviä. Toisin siltasuunnittelijoilta on tullut viestiä, että siellä voisi olla joiltain osin jopa nykyistä tiukempia vaatimuksia. Yksityiskohtaisuuden taso korostuu, kun kyseeseen tulevat kovat pinnat, kuten päällyste. Silloin kun haetaan muutosta, niin pienipiirteisyys korostuu. Käyttökohteesta riippuen voi riittää epätarkempikin aineisto. Hankintoihin saattaa esimerkiksi riittää 1 m:n tarkkuus.

4.2 Yhteenveto laserkeilausaineiston hyödyntämisestä

Pistepilviaineiston hyödyntäminen sellaisenaan oman toiminnan yhteydessä

- + Osa haastateltavista oli sitä mieltä, että pistepilviaineistoa voi ja kannattaakin hyödyntää. Hyödyntämistä oli tehty muun muassa suunnittelussa, kun haluttiin tarkastella tien poikkileikkauksen muotoa ja suunnitella tien ylintä kerrosta.
- + Kunnossapidossa pistepilviaineistoja oli hyödynnetty tasausoptimoinnissa ja koneohjausmallien tuottamisessa. Lisäksi pistepilveä oli hyödynnetty vesiväylien kanavien eroosion arviointiin. Useissa vastauksissa nousi esiin, että aineistoja voisi hyödyntää sellaisenaan asioiden havainnoinnissa ja tarkasteluissa.
- Toisaalta osa haastateltavista oli sitä mieltä, ettei pistepilvestä sellaisenaan olisi hyötyä heidän toiminnassaan. Mielenkiintoista tässä on se, että nämä vastaukset tulivat juuri suunnittelun ja kunnossapidon puolelta, jotka edellisissä kappaleissa olivat hyödyntäneet pistepilviaineistoja eri tapauksissa. Hyödynnettävyys voisi vaihdella samankin toiminnan sisällä.
- Kunnossapidon perusteluja sille, miksei voisi hyödyntää, oli muun muassa, että pistepilviaineistosta pitäisi saada enemmän irti analysoitua tietoa, esimerkiksi jonkinlaisia ”tunnuslukuja”, jotta aineistosta olisi hyötyä.
- Suunnittelun perustelut olivat, ettei pistepilvestä ole välttämättä hyötyä perusväyläsuunnittelussa, jossa vaaka- ja pystygeometria suunnitellaan erikseen. Lisäksi epätietoisuutta saattaa aiheuttaa se, että mikä on mitattua ja mikä manuaalisesti mallinnettua tietoa.

Lähtötietojen tarpeisiin tuotetun aineiston jatkohyödyntämismahdollisuudet

- + Jatkohyödyntämismahdollisuuksia nähtiin esimerkiksi sellaisessa rakenteen parantamishankkeessa, jossa tien reunoja levennetään, mutta sen keskiosa jää entiselleen. Lähtötietoaineiston perusteella olisi mahdollista saada tarkkaa tietoa siitä, missä tien eri rakenteet ja järjestelmät sijaitsevat. Takuuajan jälkeen voisi muun muassa tehdä vertailua siitä, että onko tien runko painunut ja miten se käyttäytyy suhteessa tien reunoihin.
- + Muita hyödyntämismahdollisuuksia voisi olla dokumentoinnissa ja erilaisissa seurantamittauksissa.
- Useamman haastateltavan mielestä lähtötietojen tarpeisiin tuotetusta aineistosta ei olisi hyötyä myöhemmissä vaiheissa, koska se kuvastaa sen hetkistä tilannetta. Esimerkiksi tien pintatieto voi vanheta nopeastikin ja tällöin se on käytävä mittaamassa joka tapauksessa uudelleen.

Laserkeilausaineistojen vahvuudet

- + Aineistoissa olevan tiedon suuri määrä, johon voidaan aina tarpeen mukaan palata takaisin ja irrottaa sieltä sitä tietoa, jota kyseisellä hetkellä tarvitaan sekä mahdollisuus muokata aineistoja käyttötarpeen mukaan.
- + Aineistoista saadaan monipuolisemmin ja tarkemmin erilaisia yksityiskohtia ja lisäinformaatiota kuin pelkästä maastomallista.
- + Laserkeilauksen ja sen aineistojen kustannustehokkuus verrattuna perinteiseen maastomittaukseen hankkeen koosta riippuen.
- + Laserkeilausmenetelmä on nopea ja tarkka, kunhan valmistelut tehdään huolella.
- + Turvallisuusnäkökulma, eli esimerkiksi ajoneuvolaserkeilauksella voidaan tehdä mittausta ajoneuvosta muun liikenteen mukana.

Laserkeilausaineistojen haasteet

- Aineistoissa olevan tiedon suuri määrä (toisaalta nähtiin vahvuutena). Pisteiden lukumäärä tulisi olla järkevä ja suhteessa käyttötarkoitukseen.
- Saadaanko aineistoista sitä tietoa, jota tarvitaan ja josta on hyötyä sekä aineistojen käytettävyys.
- Laserkeilaus on mittausteknisesti haastava menetelmä. Valmistelut, tiedonkeruu ja laskenta on tehtävä huolellisesti sekä on myös tiedettävä mitä ollaan tekemässä, jotta aineistot täyttävät niille asetetut vaatimukset.
- Tilaajan haasteet liittyvät aineistojen laadunhallintaan ja sen osoittamiseen, koska hänellä ei ole aina mahdollisuutta tarkastaa kaikkea aineistoa. Nykyään ollaan yhä enemmän menossa siihen suuntaan, että tilaaja vastaanottaa pelkät dokumentit, joiden mukaisesti on uskottava, että toimittaja on laadun varmistanut.
- Aineistojen oikeellisuus. Laserkeilausaineistoista tuotetuissa maastomalleissa on ollut puutteita, epäselvyyksiä tarkkuuksissa ja selkeitä virheitä.

Laserkeilausaineistojen hyödyntämisen mahdollisuudet

- Aineistoista on hyötyä esimerkiksi suunnitelmien esittämisessä ja havainnoinnissa.
- Inframallipohjaisen suunnittelun näkökulmasta on hyvä, että numeerista aineistoa on laajasti saatavilla käyttöön.
- Aineistojen pohjalta on mahdollista tehdä erilaisia vertailuja ja näin saada selville mahdolliset poikkeamat.
- Ajoneuvolaserkeilauksen avulla saadaan selville jo syntyneet reiät ja aineistosta havaittavat halkeamat indikoivat alkavaa rappeutumista. Kun tällaisista muutoksista olisi mahdollista tietää jo etukäteen, niin tällöin voitaisiin tehdä ohjelmoituja täsmäpaikkauksia ennen varsinaista reikiintymistä.
- Aineistot luovat uusia mahdollisuuksia optimoida esimerkiksi kunnossapidon toimenpiteitä nykyistä paremmin ja sitä kautta mahdollistavat toiminnan tehostumisen ja laadun parantumisen.
- Aineistojen pohjalta tuotetusta tien pintamallista olisi hyvä pystyä määrittämään nykyistä paremmin erilaisia tien korjaus- ja kunnostustarpeita. Esimerkiksi tien pintamallista määritetylle tasaisuudelle olisi hyvä pystyä määrittämään jokin tunnusluku.
- Laserkeilauksella saadaan mallinnettua nykytilanne, josta on paljon hyötyä esimerkiksi sellaisissa kohteissa, joista ei ole olemassa minkäänlaisia piirustuksia saati malleja.

4.3 Maastomallin laadun varmentaminen ja raportointi

Haastatteluiden luottamuksellisuudesta johtuen myös tässä kohtaa haastattelutulokset on esitetty siten, että yksittäisten haastateltavien nimet eivät käy ilmi tekstistä. Taulukossa 4 on esitelty ryhmä B:n haastateltavat.

Taulukko 4. Ryhmä B. (Lopputuotteen eli maastomallin laadunvarmistuksen ja raportoinnin näkökulma)

Pvm.	Haastateltava	Tehtävänimike	Työnantaja
11.6.2015	Hannes Mäkinen	maastotietoasiantuntija	Varsinais-Suomen ELY-keskus
15.6.2015	Ari Kuotesaho	tie- ja rakennussuunnitelma-vastaava	Pohjois-Pohjanmaan ELY-keskus
12.6.2015	Petri Kuusela	asiantuntija	Destia Oy
24.6.2015	Juha Liimatainen	COO	3point Oy

1. Minkälaisia kokemuksia sinulla on maastomalliaineistojen laadusta ja niiden laadun varmentamisesta?

Haastateltavien kokemukset maastomalliaineistojen laadusta ja niiden laadun varmentamisesta olivat moninaisia. He ovat toimineet useiden vuosien ajan niin tilaajan, tuottajan kuin tarkastajankin rooleissa useissa eri organisaatioissa.

Vastauksista esille nousi muun muassa seuraavia kokemuksia: joskus voi tulla todella hyvääkin laatua, suorastaan jopa liian hyvää, joskus on taas selkeästi luovutettu aineistoja keskeneräisinä, eli aineistojen laatu on vaihdellut paljonkin eri toimittajien välillä. Syitä laadunvaihteluihin olivat esimerkiksi, ettei aineistoille oltu tehty välttämättä minikäänlaista sisäistä tarkastusta. Jos tarkastusta oli tehty, niin laatu vaihteli, koska tarkastuksen suorittajilla saattoi olla omia painotuksia ja näkemyksiä. Lisäksi maastomallin tuottaja ei ole välttämättä aina tarkistanut aineistolta vaadittavia muita perusasioita, kuten onko malli kolmioitu oikein, onko leikkaavia viivoja ja onko koodattu mittausohjeen mukaisesti. Yleisin korjausta vaativa asia ovat olleet leikkaavat viivat.

Niin sanotuissa ”keilamalleissa” saattaa olla usein sellaisia virheitä, että mallissa on yhtäkkiä jokin kohta 1 m:n tai 20 cm ylempänä kuin muut kohteet. Näitä poikkeamia on saattanut jäädä malliin tarkistusmittauksista huolimatta. Nämä poikkeamat liittyvät ilmeisesti mittausperustan ongelmiin.

Toisaalta ei ole ollut yhtenäistä laadun varmentamisstandardia tilaajan, eikä myöskään tuottajan puolelta. Tämä on aiheuttanut ikäviä ja ristiriitaisia tilanteita molemmin puolin, kun ei ole tiedetty, mitä toinen haluaa ja mitä toinen pystyy tuottamaan. Tällä on ollut kauaskantoisiakin vaikutuksia kuin pelkästään kyseiseen hankkeeseen. Vaikutukset ovat ulottuneet aina tarjouskilpailuihin saakka. Tarjoajilla on saattanut olla erilaisia näkemyksiä siitä, että mitä heiltä odotetaan ja tämä on vaikuttanut tarjouslaskentaan sekä lopulta siihen kuka työn tulee lopulta saamaan.

Maastomalliaineistojen laadusta nousi esiin runsaasti erilaisia puutteita ja virheitä. Puutteet ovat olleet sellaisia, että kohteita on jäänyt mittaamatta. Yleensä ne ovat olleet niin sanotun ”9-pinnan” kartoituskohteita, kuten puutteellinen rummun tieto tai harukset ovat saattaneet jäädä mittaamatta. Muita yleisiä puuttuvia kohteita ovat esimerkiksi reunakivet. Virheet ovat liittyneet esimerkiksi väärään korkeuteen tai koodauksessa on ollut virheitä. Joskus tasosijainnissa on voinut olla sellaisia virheitä, että kohteet ovat jopa 10 m väärässä paikassa.

Maastomalliaineistojen laadun varmentamisesta haastateltavat kertoivat, että eri toimija tuottaa maastomallin ja sen tarkastaa toinen toimija (valvontakonsultti) tehden muun muassa tarkistuspoikkileikkausmittauksia. Tämän ansiosta suunnittelijoille saadaan parempaa ja tasalaatuisempaa maastomalliaineistoa.

Laadun varmentamista tehdään kuitenkin vaihtelevasti eri ELY-keskusten välillä. Kaikki eivät ilmeisesti käytä valvontakonsulttia laadun varmentamiseen, vaan he ottavat maastomalliaineistot vastaan sellaisenaan. Osa aineistoista onkin otettu vastaan hieman puutteellisina.

2. Miten laatu varmistetaan tällä hetkellä?

Vastauksissa tuli ilmi, että laatua varmistetaan muun muassa maastomalliaineiston tarkistusmittausraportin avulla. Siinä kerrotaan esimerkiksi, miten maastomalli on tehty, mikä on sen tarkkuusasema, tarkistusprofiilit, keskimääräiset virheet ja niiden sijainnit kovien pintojen osalta. Lisäksi siinä on kerrottu, jos on käytetty apupisteitä tai on tehty muita lisämittauksia.

Ensin maastomallille tehdään toimistotarkistus ja jos kyseessä on luotettava konsultti, niin välttämättä muuta ei tarvita. Voidaan tehdä myös silmämääräinen tarkistus maastossa, että onko kaikki kohteet mitattu ja ettei ole puutteita. Maastomallista tarkistetaan muun muassa kaikki leikkaavat taiteviivat ja koodit. Tarkistuksen voi tehdä myös valvontakonsultti. Tällöin hän tarkistaa ja mittaa rumpuja, lukee koodeja, tekee tarkistuspoikkileikkausmittauksia, mittaa asfaltin reunoja ja pylväitä sekä muita sellaisia kohteita, jotka ovat suunnittelulle tärkeitä. Valvontakonsultti tekee siis oikolukua, että onko mitattu oikein.

Laatua varmistetaan myös Liikenneviraston maastotietojen mittausohjeen mukaan, joka määrittää menettelytavat sille, mitkä ovat hyväksytyjä tapoja tuottaa maastomallia. Tässä mittausperusta on oleellinen osa. Kohteiden vaatimustaso on kirjattu ohjeisiin selkeästi. Lisäksi jokaisella aineiston tuottajalla on ollut omat rutiininsa laadun tarkastukseen. Tämä on keskittynyt hyvin pitkälti siihen, että mitä alan ohjelmistot pystyvät tekemään tarkistuksien osalta. Maastomalliaineistolle tulisi tehdä itselle luovutus, mutta niiden käyttö on ollut melko kirjavaa.

Tällä hetkellä laatua varmistetaan tarkistuspoikkileikkausmittauksien avulla, joita tehdään määrättyistä kohdista. Menetelmä pohjautuu pitkälti vanhan ohjeen mukaiseen tapaan. Siinä on mitattu lähinnä kohteiden korkeuksia ja yksittäisten kohteiden tasokoordinaatteja, joille sallitaan tietty prosenttimäärä ylityksiä. Menetelmä ei ole siinä mielessä reilu, että tarkistettavia kohteita ei ole arvottu, vaan on nimenomaan etsitty virheitä.

Useampi haastateltava kertoi, että maastomalliaineistojen tarkistamisessa käytetään muun muassa 3D-Win-ohjelman tarkistustyökaluja. Ohjelmasta on tullut eräänlainen alan standardi. Ohjelmassa on useita erilaisia tarkistustoimintoja esimerkiksi kolmioittuutta varten. Siihen voidaan asentaa muun muassa Liikenneviraston koodikirjasto ja maastomalliaineistoa voidaan verrata tähän. Vertailun jälkeen saadaan raportti, jossa on ilmoitettu, onko esimerkiksi tuntemattomia koodeja, onko leikkaavia viivoja, onko samoja viivoja ja pisteitä. Ohjelmasta löytyy paljon erilaisia parametreja. Loppuraporttina saadaan perusyhteenveto tiedoston sisällöstä.

3. Mitkä ovat olennaisimmat seikat laadunvarmistuksessa?

Vastausten mukaan olennaista on muun muassa tietää, että millä menetelmällä, minä vuonna, miten mallia on täydennetty, mitkä ovat havainnot aineistosta ja mikä on tarkkuus kovien pintojen osalta. Tärkeää olisi, että kaikki oleellinen tieto välittyisi myös suunnittelijalle.

Muita olennaisia seikkoja ovat, että keskitytään niihin kohtiin, jotka ovat suunnittelulle ja rakentamiselle tärkeitä asioita. Tällainen asia on esimerkiksi se, että maanpinnan korkeusasema pitää olla oikein, jotta massat, kallion leikkaukset ja muut määrät saadaan laskettua riittävän tarkasti. Lisäksi on varmistettava, että kaikki tärkeä ja oleellinen on mitattu ja ettei ole puutteita. Hankkeestakin saattaa riippua, että mikä on tärkeää ja mikä ei, eli voi vaihdella tapauskohtaisesti. Hankkeen luonne tulee ottaa huomioon. Lisäksi olennaista on, että maastomalli on sidottu oikein koordinaatistoon ja että suunnittelijakin tietää, että mihin koordinaatistoon.

Maastomallin tuottajan kannalta olennaista on oma laatujärjestelmäruutiini, jota myös noudatetaan. Sen pitää vastata tilaajan asettamaa vaatimustasoa. On oltava selkeät toimintamallit ja myös toimittava niiden mukaan.

Laaduntarkastuksen kannalta olennaista on, että olisi yksi selkeä ohjeistus siitä, että miten tarkastus suoritetaan. Sen tulisi olla mahdollisimman kattava, muttei kuitenkaan liian raskas. Otantatyypinen menetelmä voisi ehkä olla asiallisin. Vaatimus- ja tarkkuustasot on oltava sellaisia, että niihin on myös mahdollista päästä eli realistisia. Lähtökohtana tilaajan ja tuottajan välillä tulisi olla, että rutiineja myös noudatetaan. Ohjeissa pitää olla tietyt asiat, joita vaaditaan, mutta lisäksi tuottajilla voisi olla tietynlaista vapautta siinä, jos hänellä on osoittaa jokin vaihtoehtoinen tapa tuottaa vaadittua mitaustietoa.

Olennaiseksi seikaksi nousi myös mittausperusta eli käytössä oleva kiintopisteverkko. Mittausperustan suunnittelemiseen ja toteuttamiseen kannattaa panostaa heti alusta alkaen, jotta se palvelisi mahdollisimman hyvin sekä itse mittauksia, mutta myös rakentamista.

4. Mitä haasteita liittyy laadun varmentamiseen?

Vastauksissa laadun varmentamisen haasteita nähtiin muun muassa siinä, että pitäisi tiedostaa se, että laserkeilauksesta ei saada kaikkea mahdollista tietoa. Puuttuvat tiedot on käytävä mittaamassa maastossa. Ongelmia saattaa silti olla vaikka maastomallit olisivatkin käyneet tarkistusprosessin läpi. Aina on mahdollista, että jotakin jää puuttumaan.

Maastomallin tuottajan pitäisi itse pystyä osoittamaan ja varmistamaan aineiston laatu. Haastetta on esimerkiksi siinä, että milloin tarkastuksessa ”reputtanut” maastomalli todella hylätään lopullisesti. Tästä asiasta ei ole niin sanotusti oikeutta vielä käyty, vaan tähän saakka konsulttien kanssa on neuvoteltu puutteista ja virheistä. Otantaan perustuvalla menetelmällä pyrittiin siihen, että olisi selkeät rajat sille, että milloin maastomalli hyväksytään ja milloin hylätään.

Haasteena pidettiin myös maastomallin tuotantoketjua, sillä maastomalli on useamman eri vaiheen lopputulos ja kokonaisuus, jossa jokaisella vaiheella on omat ”niksinsä”. Maastomallin tuottajalla pitää olla koko proseduuri hallussa. Hyvä olisi olla laaja ja pitkä kokemus alusta loppuun saakka. Aineistojen laajuus aiheuttaa haasteita, koska harvoin voidaan löytää kaikkia ongelmakohteita ja se, että miten ne löydetään tehokkaasti järjestelmällisellä työmäärällä. Kun toimitaan tietyllä tavalla, niin laatuongelmia ei pitäisi syntyä. Tuottajalla on haastetta siinä, että tuotteen tekemisessä on mukana useita eri osapuolia. Harva toimija pystyy tekemään maastomallia alusta loppuun saakka. Suurin haaste on siinä, että pääurakoitsijalla on oltava selkeät ohjeet, jotta alirakoitsijakin pystyy toimimaan niiden pohjalta tai sitten on oltava niin hyvät valtakunnalliset ohjeet, että voidaan toimia niiden pohjalta. Haasteet tulevat työn monimuotoisuudesta, laajuudesta, aikatauluista ja taloudesta.

Yhtenä haasteena nähtiin maastomallituotannon hinnoittelu, koska kyseisistä töistä on käynnissä kova kilpailu. Työn hinnoittelussa on omat haasteensa, kun lasketaan tunteja maastomallin tekemiseen, tarkastamiseen ja laadunvarmistamiseen. Tämän kaiken, kun tekee kunnolla ja huolellisesti, niin saattaa huomata, ettei maastomallin tekemistä kannata alkaa edes tarjoamaan, koska joku toinen tekee kuitenkin halvemmalla. Tilausasiakirjoissa pitäisi esimerkiksi tarkemmin selostaa, mitä lähtötietoaineistoja maastomallin tuottamisessa saa hyödyntää. Näin kaikilla tarjoajilla olisi samat pelisäännöt ja kaikkien pitäisi pystyä hinnoittelemaan maastomallin tuottaminen suunnilleen samalla tavalla.

5. Mitkä ovat oikeat menetelmät riittävän laadun varmentamiseen?

Vastauksista kävi ilmi, että oikeita menetelmiä riittävän laadun varmentamiseen ovat muun muassa tarpeellinen määrä maastomittauksia olennaisten kohteiden osalta. Kovien pintojen, kuten siltojen, alikulkukäytävien ja muiden vastaavien osalta pitää tehdä riittävästi tarkistusmittauksia, jotta voidaan varmistua näiden tietojen oikeellisuudesta. Usein käydään vielä suunnittelun aikanakin tekemässä tarkistusmittauksia.

Tuottajan puolella oikeat menetelmät ovat esimerkiksi rutinoitunut tapa toimia eli edetään oikeassa järjestyksessä ja huolellisesti. Tehdään riittävästi signalointi- ja kalibrointipisteitä sekä huolehditaan orientointitiedoista. Lisäksi on varmistettava sekä sisäinen että ulkoinen tarkkuus. Tuottajan laatujärjestelmä on tärkeässä roolissa riittävän laadun varmentamisessa.

Myös tilaajan puolella oikeat menetelmät liittyvät rutiininomaiseen laaduntarkastukseen. Oikeana menetelmänä pidettiin myös sitä, että yksi toimija tuottaa maastomallin ja toinen toimija tekee sille tarkastuksen.

Vastauksissa nähtiin myös, että tilaajan pitäisi vaatia, että kohdealueelle rakennetaan aina mittausperusta, jos siellä ei sellaista ennestään ole. Tällöin tuottaja voisi ottaa tämän huomioon hinnoittelussaan ja kaikilla osapuolilla olisi tiedossa, että mihin mittaukset tulevat perustumaan. Jos mittausperustasta ei ole ollut aiemmin minkäänlaista käsitystä ja myöhemmin huomataan alueelta sellaisen puuttuvan, niin yleensä mittauksen tarkkuus tällöin kärsii. Tämä johtuu siitä, että näitä jälkikäteen tehtyjä mittauksia tehdään yleensä GNSS-menetelmällä, jolla ei välttämättä aina saavuteta riittävää tarkkuutta.

Lisäksi tilaajan tulisi vaatia, että maastomallin tuottamisesta lähtien kaikki aineisto, mukaan lukien lähtöpisteverkko, toimitetaan suunnittelijalle ja myöhemmin rakentajalle. Aineiston pitäisi seurata nykyistä paremmin läpi koko toimitusketjun.

6. Miten koet nykyiset laadun varmentamismenetelmät?

Haastateltavat kokivat muun muassa tarkistuspoikkileikkauksiin perustuvan menetelmällä hyväksi tavaksi varmistaa laatua. Mittauksen päätteeksi tuotetaan määrämuotoinen tarkistusmittausraportti, jossa on kerrottu esimerkiksi maastomallin laatutaso. Lisäksi raportin liitteenä on ollut tarkistuspoikkileikkausprofiilit.

Osa haastateltavista kokee, että nykyiset laadun varmentamismenetelmien käytännöt ovat olleet kirjavia. Toisen osan mielestä laadun varmentamismenetelmissä ei ole ongelmia, kun toimitaan maastotietojen mittausohjeen mukaan. Enempi on kyse siitä, että haluaako maastomallin tuottaja tehdä laatua. Mittausohjeen huonoudesta tai sen vanhentumisesta se ei ole kiinni. Myös tuottajilta itseltään on tullut palautetta, että kun ohjeita noudattaa, niin tulee laadukasta aineistoa.

7. Onko mielestäsi laadunvarmistuksessa jotain kehitettävää, ja jos on, niin mitä?

Haastateltavien mielestä laadunvarmistuksessa pitäisi muun muassa yhdenmukaistaa menetelmiä ja ottaa hyvät käytännöt yleiseksi ohjeeksi. Esille nousi myös, että niin sanotuille ”keilamalleille” pitäisi olla omat spesifikaatiot mittausohjeessa.

Yhtenä kehittämiskohteena mainittiin, että pitäisi olla sellainen laadun varmentamismenetelmä, joka selkeästi joko hyväksyy tai hylkää maastomalliaineiston. Aineiston tuottajalla on oltava selkeä vastuu laadusta. Näissä asioissa on toimittava varman päälle, koska virheet ja puutteet kostaavat myöhemmissä vaiheissa.

Vastauksissa nousi esille, että myös Liikenneviraston pitäisi pyrkiä tekemään omat ohjeet ja rutiinit niin selkeiksi, että tuottajapuoli pystyy laatimaan omat tuotantojärjestelmänsä sellaisiksi, että sieltä saadaan ulos sitä mitä halutaan. Mittausohjeessa on melko selkeästi kerrottu, että mitä mitataan ja mistä mitataan. Sen sijaan vaatimustasoihin pitää kiinnittää enemmän huomiota. Joillekin kohteille on asetettu liian tiukka tarkkuusvaatimus ja ne pitäisikin käydä uudestaan lävitse.

Laaduntarkastusta pitäisi kehittää yhdessä tilaajien ja aineistojen tuottajien kanssa. Lähtökohtaisesti näytteenottoon perustuva menetelmä olisi hyvä ja ehkäpä ainoa mahdollinen tapa. Näytetarkastusohjeen pitää olla kuitenkin selkeämpi ja helpompi tuottajankin ottaa käyttöön.

Metatieto on hyvin oleellinen osa laadunvarmistusta. Sen avulla saadaan tietää esimerkiksi, että mikä on maastomalliaineiston tuotantotapa ja -tarkkuus. Tähän pitää kiinnittää jatkossa paljon enemmän huomiota, koska asia korostuu nimenomaan inframallintamisen yhteydessä.

Eräänä kehittämisideana esille nousi, että voisiko maastomallien laaduntarkistukseen soveltaa vastaavaa menetelmää kuin nyt tehdään inframallien laaduntarkistuksessa. Siinä hyödynnetään ulkopuolisen toimijan pilvipalvelua, jonka ”läpi” inframallit ajetaan. Palvelu tarkistaa inframalleista määrättyjä asioita ja tarkistuksen lopuksi tuotetaan loppuraportti, jossa kerrotaan, että mitä tiedosto pitää sisällään. Tällä voisi olla samanlainen vaikutus maastomalliaineistojen tuottajiin kuin nyt on ollut inframallintamisessa suunnittelijoiden puolella. Siellä suunnittelijoiden tekemien mallien laatu on selkeästi parantunut, kun heillä on tiedossa, että malli on ajettava ”tarkistajan” läpi ja tietyt asiat on oltava kunnossa. Laatu on parantunut selkeästi ja joitain parametreja on jopa tiukennettukin, mutta siitä huolimatta tulokset ovat olleet hyviä.

8. Miten raportointi hoidetaan nykyisen ohjeen mukaan?

Vastausten mukaan maastotietojen mittausohjeissa on raportoinnille asetettu erilaisia vaatimuksia. Mittausohjeissa on muun muassa malliraportti ja sisällysluettelo niistä asioista, jotka pitää raportoida. Raportista on käytävä ilmi esimerkiksi käytetty koordinaatisto, mittausperusta, miten ja mitä varten maastomalli on tehty ja mitä tekniikoita on käytetty. Myös luovutettavasta aineistosta pitää olla tietoa, että mitä se pitää sisällään.

Haastateltavien mielestä vaatimukset ja ohjeet ovat raportoinnin osalta kohtuullisen hyvät, kunhan vain toimitaan niiden mukaan.

9. Mitkä ovat olennaisimmat seikat raportoinnissa? Saako tilaaja tietoonsa sen tiedon, jonka hän tarvitsee ja jolla on hänelle merkitystä?

Olennaisimmat seikat raportoinnissa löytyvät mittausohjeen sisällysluettelosta. Näitä ovat muun muassa tiedon hankintatapa, tarkkuus taso, tiedonhankinnan ajankohta eli

kuinka tuore maastomalli on, koordinaatti- ja korkeusjärjestelmä, liitteet, millä menetelmällä maastomalli on tehty ja miten se on tarkistettu sekä tieto siitä, että missä ovat suurimmat poikkeamat. Tärkeää on myös kertoa avoimesti maastomallin mahdolliset puutteet.

Olennaista on myös se, että raportointi on tilaajalähtöistä. Raporttirungon tulisi olla mahdollisimman selkeä ja tiivistetty. Se voisi esimerkiksi olla yksinkertainen raporttilomake, johon täytettäisiin oleelliset kohdat ja tämä seuraisi aineistoa toimitusketjussa eteenpäin.

Vastausten mukaan tilaaja saa tarvitsemansa tiedon, jos raportointi on tehty mittausohjeen mukaan. Raportoinnit ovat kuitenkin olleet melko vaatimattomia.

10. Mitä haasteita näet raportoinnissa? Onko raportoinnissa jotakin turhaa tai ylimääräistä?

Osa haastateltavista ei nähnyt raportoinnissa suurempia haasteita, kunhan se vain tehdään systemaattisesti ja määrämuotoon.

Toisten haastateltavien mielestä raportointia pidetään raskaana ja työläänä vaiheena. Tämä korostuu erityisesti pienemmissä hankkeissa. Niissä raportointivaatimukset voisivat olla hieman kevyempiä.

Haastetta on siinä, että raportti ylipäänsä tehtäisiin. Takymetriä orientointitiedot ovat olleet kirjavia ja tähän pitäisikin saada parannusta ja selkeyttä. Olisi hyvä, jos niiden tiedot olisivat samassa muodossa. Lisäksi karttaliitteet voivat olla joskus hieman puutteellisia.

Raporttipohja voisi olla esimerkiksi taulukkomuotoinen dokumentti, jota täytettäisiin. Tällainen selkeä ja yksinkertainen raporttipohja voisi auttaa siinä, että raportointi tulisi tehtyä kunnolla.

Raportoinnissa ei nähdä mitään turhaa tai ylimääräistä. Raportointi on kuitenkin tärkeä ja perusteltu vaatimus, koska dokumenttien pohjalta on mahdollista jäljittää erilaisia virhelähteitä.

11. Mitä mahdollisuuksia näet raportoinnissa? Miten tuottajat itse näkevät raportoinnin?

Mahdollisuuksia nähdään siinä, että raportoinnin avulla välttyään ongelmilta ja tiedetään, mitä luovutettu aineisto on. Vastauksissa tuli esiin, että toivottavasti myös tilaaja lukee raportin, eikä sitä vaadittaisi vain muodon vuoksi.

Raportin tulisi kulkea koko ajan muun aineiston mukana, jolloin mennäänkin jo metatietopuolen asioihin ja esimerkiksi tiedoston nimeämiskäytäntöihin.

Jos tilaaja vaatii raportointia, niin se tasapuolistaa tuottajien välistä kilpailua ja toimintaa. Kaikki ovat tällöin lähtökohtaisesti samassa asemassa ja kaikilla on tieto siitä, että raportti pitää tuottaa ja että se vaatii hieman aikaa. Tällöin voisi kuvitella, että myös laadun vaihtelut tasoittuvat ja laatu voisi ehkä jopa parantua.

Haastateltavat pitävät raportointia hyvin tärkeänä asiana. Vastausten mukaan kaikki tuottajat eivät ole kuitenkaan sisäistäneet sitä ajatusta, että raportoinnista olisi hyötyä molemmiin puolin. He näkevät raportoinnin vain välttämättömänä pahana. Nämä tuottajat pitäisikin saada ymmärtämään raportoinnin tärkeys.

12. Pitäisikö raportointia kehittää ja parantaa jotenkin, ja jos pitää, niin miten?

Raportointia pitäisi kehittää siten, että otetaan valtakunnan parhaat käytännöt käyttöön. Muita kehitys- ja parantamiskohteita voisivat olla mittausohjeen lopussa oleva malliesimerkki karttaliitteistä sekä Liikenneviraston ja ELY-keskusten yhtenäinen raportointimuoto

Raportointia voisi kehittää lomakepohjaiseen suuntaan, johon kirjataan lyhyesti ja ytimekkäästi tärkeimmät asiat. Mittausohjeessa voisi olla esimerkiksi valmis lomakepohja, jota täytetään. Lomakepohja voisi olla myös Word-dokumentti, jonka eri kenttiä täytetään. Tämän voisi vielä toteuttaa niin, että jotkin tietyt määrätyt kohdat on täytettävä ennen kuin pääsee siirtymään eteenpäin esimerkiksi tulostusvaiheeseen.

Vastauksissa nousi esille myös, että raportoinnin yhteys itse maastomalliaineistoon tulisi säilyä ja tätä puolta tulisikin kehittää nykyisestä. Inframallintamisen yhteydessä tämä vaatii erityistä huomiota.

Sille ei ole juurikaan ohjeistusta ja raportointivaatimuksia, että miten pistepilviaineisto on tuotettu. Mittausohjeessa tulisikin erottaa laserkeilaus omaksi kokonaisuudekseen. Tämä olisi järkevää niin maastomallin osalta kuin yleiselläkin tasolla. Laserkeilausmenetelmä tulee olemaan laajassa käytössä ja aineistoa tullaan käyttämään muuallakin kuin maastomalleissa, esimerkiksi koneohjauksessa.

4.4 Yhteenveto maastomallin laadun varmentamisesta ja raportoinnista

4.4.1 Maastomallin laadun varmentaminen

Kokemukset maastomalliaineistojen laadusta

- Aineistojen laatu on vaihdellut väliin paljonkin. Joskus on saatu todella hyvälaatuista aineistoa ja joskus aineistoja on luovutettu selvästi keskeneräisinä. Perusasioita on saattanut jäädä tarkastamatta, kuten onko malli kolmioitu oikein ja

onko koodattu mittausohjeen mukaan. Yleisin korjausta vaativa asia ovat olleet leikkaavat viivat.

- Puutteita ovat olleet yleensä ”9-pinnan” mittaamatta jääneet kartoituskohteet tai niiden muu puutteellinen tieto. Yleisin puuttuva kohde on ollut reunakivet.
- Virheet ovat liittyneet väärään korkeustietoon tai virheelliseen koodaukseen.

Kokemukset laadun varmentamisesta

- Nykyisen laadun varmentamismenetelmän (valvontakonsultti suorittaa tarkistuspoikkileikkausmittauksia) ansiosta koettiin, että saadaan parempaa ja tasalaatuisempaa maastomalliaineistoa.
- Laadun varmentamista tehdään kuitenkin vaihtelevasti eri ELY-keskusten välillä. Kaikki eivät ilmeisesti käytä tarkastamisessa apuna valvontakonsulttia ja tästä onkin seurannut, että joskus aineistoja on otettu vastaan hieman puutteellisina.
- Yhtenäisen laadun varmentamisstandardin puuttuminen sekä tilaajan että tuottajan puolella on välillä aiheuttanut ristiriitaisia tilanteita, kun ei ole välttämättä tiedetty, että mitä tilaaja tarkalleen haluaa ja mitä tuottaja pystyy tuottamaan.

Laadun varmentaminen tällä hetkellä

- Jos laadun varmentaa tilaaja itse, niin maastomallille tehdään ensin niin sanottu toimistotarkastus ja jos kyseessä on luotettava aineiston toimittaja, niin välttämättä muuta ei tarvitakaan. Voidaan käydä myös paikan päällä maastossa tarkastamassa, että onko kaikki kohteet mitattu ja ettei ole puutteita. Maastomallista tarkastetaan muun muassa leikkaavat taiteviivat ja koodit.
- Jos laadun varmentaa valvontakonsultti, niin silloin hän tarkastaa, että maastomallin mittaus on tehty oikein. Valvontakonsultti muun muassa mittaa erilaisia kohteita, kuten rumpuja, lukee koodeja ja tekee tarkistuspoikkileikkausmittauksia.
- Tarkistuspoikkileikkausmittauksiin perustuvassa menetelmässä mitataan kohteiden korkeuksia ja yksittäisten kohteiden tasokoordinaatteja, joille sallitaan tietty prosenttimäärä ylityksiä. Tarkastettavia kohteita ei arvota mitenkään, vaan keskitytään nimenomaan etsimään virheitä. Tässä mielessä menetelmä ei ole ”reilu”.
- Laatu varmennetaan lisäksi maastomalliaineiston tarkastusmittausraportin avulla, jossa on kerrottu esimerkiksi, miten maastomalli on tehty, mikä on sen tarkkuus taso, tarkistusprofiilit, keskimääräiset virheet ja niiden sijainnit kovien pintojen osalta.
- Jokaisella aineiston tuottajalla on omat rutiininsa laadun varmentamiseen. Tämä on keskittynyt pitkälti siihen, että mitä eri ohjelmistot pystyvät tekemään tarkastuksien osalta. Eräänlaiseksi alan standardiksi onkin muodostunut suomalainen 3D-Win-ohjelma, jossa on useita erilaisia tarkastustoimintoja.

Laadun varmentamisen olennaisimmat seikat

- Olennaista on tietää muun muassa maastomallin tuotantomenetelmä, tuotantovuosi, mallin täydennystapa sekä mitkä ovat havainnot aineistosta ja mikä on tarkkuus kovien pintojen osalta.
- Muita olennaisia seikkoja ovat, että kaikki tärkeä ja oleellinen on mitattu ja ettei aineistossa ole puutteita.
- Tulee keskittyä suunnittelulle ja rakentamiselle tärkeisiin asioihin, kuten hyvin suunniteltuun ja toteutettuun mittauserustaan, maan pinnan oikeaan korkeustietoon sekä siihen, että maastomalli on sidottu oikein koordinaatistoon.
- Maastomallin tuottajan kannalta olennaista on oma laatujärjestelmä, jota tulee myös noudattaa. Laatujärjestelmän pitää vastata tilaajan asettamaa vaatimustasoa, on oltava selkeät toimintamallit eli rutiinit ja on myös toimittava niiden mukaan.

Laadun varmentamisen haasteet

- Pitäisi tiedostaa se, että laserkeilauksella ei saada kaikkea mahdollista tietoa maastosta. Puuttuvat tiedot on käytävä paikan päällä mittaamassa.
- Tarkastusprosesseista ja -mittauksista huolimatta maastomalleihin saattaa jäädä erilaisia virheitä tai puutteita. Esimerkiksi niin sanotuissa ”keilamalleissa” voi olla sellaisia korkeuteen liittyviä virheitä, että jokin kohta mallissa onkin 20 cm ylempänä kuin muut kohteet.
- Pitäisi saada selvyys siihen, että milloin vastaanottotarkastuksessa ”reputtanut” maastomalliaineisto hylätään lopullisesti. Tähän asti asiasta on aina neuvoteltu tuottajan kanssa.
- Haasteena pidettiin maastomallin tuotantoketjua. Maastomalli on useamman eri vaiheen lopputulos ja kokonaisuus, jossa jokaisella vaiheella on omat menettelynsä ja toimintatapansa. Haasteet tulevatkin juuri työn monimuotoisuudesta, laajuudesta, aikatauluista ja taloudesta.
- Yhtenä haasteena nähtiin maastomallituotannon hinnoittelu, koska kyseisistä töistä on käynnissä kova kilpailu. Työn hinnoittelun haasteet liittyvät siihen, kun lasketaan tunteja maastomallin tekemiseen, tarkastamiseen ja laadunvarmistamiseen. Kun tämän kaiken tekee kunnolla ja huolellisesti, niin saattaa huomata, ettei maastomallin tekemistä kannata edes tarjota, koska joku toinen tekee kuitenkin halvemmalla. Tilausasiakirjoissa pitäisi esimerkiksi tarkemmin selostaa, mitä lähtötietoaineistoja maastomallin tuottamisessa saa hyödyntää. Näin kaikilla tarjoajilla olisi samat pelisäännöt ja kaikkien pitäisi pystyä hinnoittelemaan maastomallin tuottaminen suunnilleen samalla tavalla.

Oikeat menetelmät riittävän laadun varmentamiseen

- On oltava riittävästi maastomittauksia olennaisten kohteiden osalta. Kovien pintojen suhteen pitää tehdä tarpeeksi tarkistusmittauksia, jotta voidaan varmistua tietojen oikeellisuudesta.
- Aineiston tuottajan puolella rutinoitunut tapa toimia eli edetään huolellisesti oikeassa järjestyksessä. Tehdään riittävästi signalointi- ja kalibrointipisteitä sekä varmistetaan sisäinen ja ulkoinen tarkkuus. Tuottajan laatu järjestelmä on tärkeässä roolissa riittävän laadun varmentamisessa.
- Tilaajan puolella oikeat menetelmät liittyvät myös rutiininomaiseen laaduntarkastukseen.
- Nykyinen laadun varmentamistapa, jossa yksi toimija tuottaa maastomallin ja toinen toimija tarkastaa sen.
- Tilaajan pitäisi vaatia, että kohdealueelle rakennetaan aina mittausperusta, jos siellä ei sellaista ennestään ole. Tällöin tuottaja voisi ottaa tämän huomioon hinnoittelussaan ja kaikilla olisi tiedossa, että mihin mittaukset tulevat perustumaan.
- Lisäksi tilaajan tulisi vaatia, että maastomallin tuottamisesta lähtien kaikki aineisto, mukaan lukien lähtöpisteverkko, toimitetaan suunnittelijalle ja myöhemmin rakentajalle. Aineiston pitäisi seurata nykyistä paremmin läpi koko toimitusketjun.

Kokemukset nykyisestä laadun varmentamismenetelmistä

- Tarkistuspoikkileikkauksiin perustuvan menetelmän käyttö koettiin hyväksi tavaksi varmistaa laatu. Mittauksesta saadaan määrämuotoinen tarkistusmittausraportti, jossa on kerrottu esimerkiksi maastomallin laatutaso. Lisäksi raportin liitteenä on ollut tarkistuspoikkileikkausprofiilit.
- Osa haastateltavista kokee, että nykyiset laadun varmentamismenetelmien käytännöt ovat olleet kirjavia.
- Osan mielestä laadun varmentamismenetelmissä ei ole ongelmia, kun toimitaan maastotietojen mittausohjeen mukaan. Kyse on enempi siitä, että halutaanko tehdä laatua. Tuottajilta itseltäänkin on tullut palautetta, että kun ohjeita noudattaa, niin saadaan myös laadukasta aineistoa.

Laadun varmentamisen kehittämiskohteita

- Laaduntarkastusta pitäisi kehittää yhdessä tilaajien ja aineistojen tuottajien kanssa sekä laadun varmentamismenetelmiä tulisi yhdenmukaistaa ja ottaa hyvät käytännöt yleiseksi ohjeeksi.
- Pitäisi olla sellainen laadun varmentamismenetelmä, joka selkeästi hyväksyy tai hylkää tarkastettavan maastomalliaineiston. Otantaan perustuvalla menetelmällä pyrittiin juuri tähän. Tuottajan pitäisi itse pystyä osoittamaan ja varmistamaan aineiston laatu.

- Tilaajan pitäisi tehdä ohjeistuksensa ja rutiininsa niin selkeiksi, että tuottajapuoli pystyisi niiden perusteella rakentamaan tuotantojärjestelmänsä sellaiseksi, että siltä saataisiin tilaajan vaatimaa aineistoa.
- Vaatimus- ja tarkkuustasot on oltava realistisia, jotta niihin on myös mahdollista päästä. Nykyisessä mittausohjeessa on joillekin kohteille määritetty liian tiukka tarkkuusvaatimus ja ne pitäisikin määritellä uudestaan.
- Laaduntarkastuksessa tulisi olla yksi selkeä ohjeistus siitä, että miten tarkastus suoritetaan. Sen tulisi olla mahdollisimman kattava, muttei liian raskas.
- Näytteenottoon perustuva menetelmä voisi olla hyvä ja ehkäpä ainoa mahdollinen tapa. Näytetarkastusohjeen pitää olla kuitenkin selkeämpi ja helpompi tuottajankin ottaa käyttöön.
- Tilaajan ja tuottajan tulisi noudattaa omia rutiinejaan. Ohjeissa pitää olla tietyt asiat, joita vaaditaan, mutta lisäksi tuottajilla voisi olla tietynlaista vapautta siinä, jos on osoittanut jokin vaihtoehtoinen tapa tuottaa vaadittua mittaustietoa.
- Metatieto on oleellinen osa laadunvarmistusta. Sen avulla saadaan tietää esimerkiksi, että mikä on maastomalliaineiston tuotantotapa ja -tarkkuus. Tähän pitää kiinnittää jatkossa enemmän huomiota, koska asia korostuu nimenomaan inframallintamisen yhteydessä.
- Niin sanotulle ”keilamallille” pitäisi olla omat spesifikaatiot maastotietojen mittausohjeessa
- Voisiko maastomallien laaduntarkistukseen soveltaa vastaavaa menetelmää kuin inframallien laaduntarkistuksessa? Siinä hyödynnetään ulkopuolisen toimijan pilvipalvelua, johon inframallit syötetään. Palvelu tarkistaa inframalleista tiettyjä asioita ja tarkastamisesta saadaan loppuraportti, joka kertoo, että mitä tiedosto pitää sisällään. Tällä voisi olla samanlainen vaikutus maastomalliaineistojen tuottajiin kuin on ollut inframallintamisessa suunnittelijoiden kohdalla. Inframallien laatu on selkeästi parantunut, kun on ollut tiedossa, että malli on syötettävä ”tarkistajan” läpi ja tietyt asiat on oltava kunnossa. Mallien laatu on parantunut selkeästi ja joitain parametreja on jopa tiukennettukin.

4.4.2 Raportointi

Raportoinnin olennaisimmat seikat

- Raporttirungon tulisi olla mahdollisimman selkeä ja tiivistetty. Raportista tulisi löytyä seuraavat olennaisimmat seikat: tiedon hankintatapa ja hankinnan ajankohta, tarkkuus taso, koordinaatti- ja korkeusjärjestelmä, liitteet, maastomallin mittausmenetelmä ja sen tarkistustapa sekä tieto siitä, missä ovat suurimmat poikkeamat. Lisäksi on tärkeää tietää maastomallin mahdollisista puutteista.

Raportoinnin haasteet

- Osan mielestä raportoinnissa ei nähty olevan suurempia haasteita, kunhan se vain tehdään systemaattisesti ja määrämuotoon. Toisen osan mielestä haasteet liittyvät siihen, että raportointia ylipäänsä tehtäisiin.
- Muutamien mielestä raportointia pidetään raskaana ja työläänä vaiheena, joka korostuu erityisesti pienempien hankkeiden yhteydessä. Niissä raportointivaatimukset voisivat olla hieman kevyempiä.
- Takymetrien orientointitiedot ovat olleet kirjavia ja tähän olisi hyvä saada parannusta ja selkeyttä. Tietojen olisi hyvä olla yhtenäisessä muodossa. Lisäksi karttaliitteet voivat olla joskus puutteellisia.

Raportoinnin mahdollisuudet ja tuottajien näkemykset raportoinnista

- Raportoinnin avulla vältytään erilaisilta ongelmilta, koska sen pohjalta tiedetään, minkälaista on luovutettu maastomalliaineisto. Jos ongelmia kuitenkin ilmenee, niin raportoinnin dokumenttien avulla on mahdollista jäljittää ja selvittää erilaisia virhelähteitä.
- Tilaajan tulisi vaatia raportointia, jotta se tasoittaisi tuottajien välistä kilpailua ja toimintaa. Kaikilla olisi silloin samat lähtökohdat ja tieto siitä, että raportti pitää tuottaa. Tällöin voisi olettaa, että myös laadun vaihtelut tasoittuisivat.
- Haastateltavat pitivät raportointia hyvin tärkeänä asiana. Vastausten mukaan kaikki tuottajat eivät ole kuitenkaan sisäistäneet ajatusta, että siitä olisi hyötyä. He näkevät raportoinnin vain välttämättömänä pahana. Nämä tuottajat pitäisikin saada ymmärtämään raportoinnin tärkeys ja merkitys.

Raportoinnin kehittämiskohteita

- Raportointia tulisi kehittää ottamalla käyttöön valtakunnan parhaat käytännöt.
- Maastotietojen mittausohjeessa voisi olla malliesimerkki karttaliitteistä sekä Liikenneviraston ja ELY-keskusten yhtenäinen raportointimuoto ja -runko.
- Raportointi voitaisiin tehdä taulukkomuotoiseen dokumenttiin, johon kirjataan lyhyesti ja selkeästi tärkeimmät asiat. Mittausohjeessa voisi olla malliesimerkki.
- Raportoinnin yhteys maastomalliaineistoon tulisi säilyä läpi koko toimitusketjun ja tätä tulisikin kehittää nykyisestä tilanteesta. Tulisi sopia ja määrittää vakio metatiedot, jotka pitää aina löytyä. Tämä tukisi tietomallipohjaista ajattelutapaa.
- Pistepilviaineistojen tuottamiselle ei ole juurikaan ohjeistusta ja raportointivaatimuksia. Mittausohjeessa tulisikin laserkeilaus erottaa omaksi kokonaisuudekseen. Tämä olisi järkevää niin maastomallin osalta kuin yleiselläkin tasolla. Laserkeilausmenetelmä tulee olemaan laajassa käytössä ja aineistoa tullaan käyttämään muuallakin kuin maastomalleissa, esimerkiksi koneohjauksessa.

5. TULOKSET

Seuraavissa luvuissa käsitellään kirjallisuusselvityksen ja haastatteluiden perusteella saatuja tuloksia. Ensimmäisenä tarkastellaan laserkeilausaineiston hyödyntämistä eri käyttökohteissa inframallintamisen yhteydessä ja toisena pistepilviaineistoista irrotettuja piirteitä, joiden sisältämää tietoa voitaisiin hyödyntää esimerkiksi suunnittelussa. Kolmantena tarkastellaan laserkeilausaineiston lopputuotteen eli maastomallin laadun varmentamista.

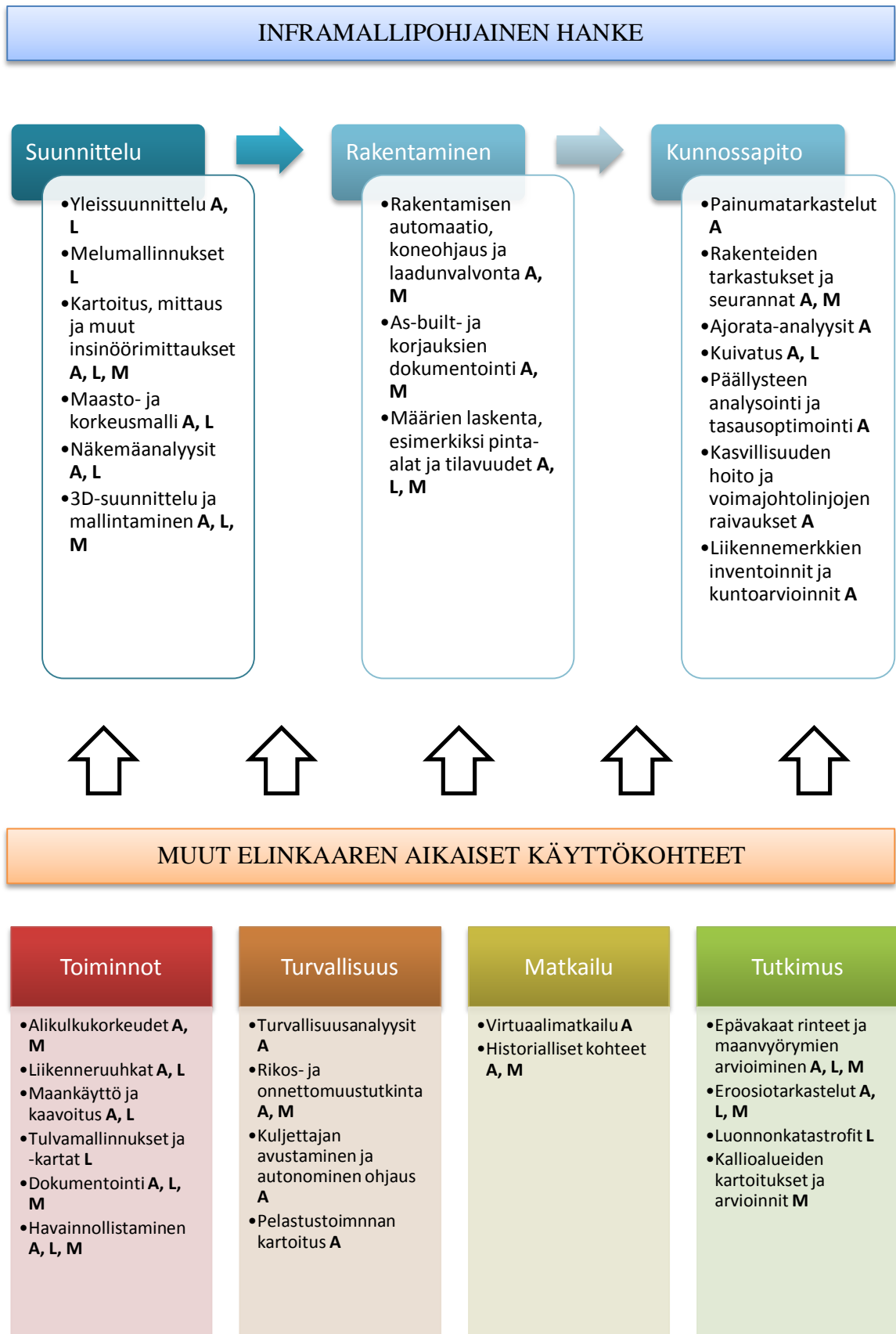
5.1 Laserkeilausaineiston hyödyntäminen inframallintamisen yhteydessä

Laserkeilauksella saadaan nopeasti yksityiskohtaista tietoa ympäröivästä maailmasta. Laserkeilausta voidaan tehdä ilmasta, liikkuvasta ajoneuvosta ja paikallaan olevasta kolmijalalla seisovasta laserkeilaimesta. Jokaisella näistä on omat vahvuutensa ja heikkoutensa. Lentolaserkeilauksella saadaan esimerkiksi mitattua nopeasti laajojakin alueita. Mittaustarkkuudessa ei kuitenkaan päästä ihan samaan luokkaan kuin esimerkiksi maalaserkeilauksella, jonka tarkkuus on parhaimmillaan jopa alle 1 cm:n. Toisaalta maalaserkeilauksella ei voida mitata suuria ja laajoja alueita, vaan kohteet ovat yleensä verrattain pieniä. Mittaaminen on myös melko hidasta, koska kohde on usein keilattava useasta eri suunnasta, jotta se tulisi mitattua kokonaan. Tässä oli vain eräs esimerkki eri menetelmien rajoitteista ja mahdollisuuksista.

Tässä työssä luokiteltua eri laserkeilausmenetelmien soveltuvuudesta kuhunkin käyttökohteeseen on tehty yleisellä tasolla. Pääpaino tarkastelussa on hyödynnettävyydessä, eikä niinkään itse tekniikassa. Laserkeilainten tekniikka, kuten niiden tarkkuudet kehittyvät tänä päivänä varsin nopeaan tahtiin. Hyvin yleisellä ja karkealla tasolla eri laserkeilausmenetelmät voidaan jaotella tarkkuuden mukaan niin, että tarkinta mittaustietoa saadaan maalaserkeilauksella, toiseksi tarkinta ajoneuvolaserkeilauksella ja kolmanneksi tarkinta lentolaserkeilauksella. On kuitenkin huomattava, että tarkkuustasot menevät osittain toistensa kanssa päällekkäin.

Kirjallisuusselvityksen ja asiantuntijoiden haastatteluiden yhteenvedon tuloksena saatiin selville useita erilaisia laserkeilausaineiston hyödyntämismahdollisuuksia eri käyttökohteissa. Käyttökohteita on pyritty luokittelemaan niin, että ne sopisivat mahdollisimman hyvin inframallipohjaisen hankkeen eri vaiheisiin, eli suunnitteluun, rakentamiseen ja kunnossapitoon. Lisäksi löydettiin useita muita kohteita, joissa laserkeilausaineistoja voidaan hyödyntää hankkeen elinkaaren aikana. Kuvassa 14 on esitetty laserkeilausaineiston hyödyntämismahdollisuuksia eri käyttökohteissa kaavion avulla.

A = Ajoneuvolaserkeilaus **L** = Lentolaserkeilaus **M** = Maalaserkeilaus



Kuva 14. Laserkeilausaineiston hyödyntämismahdollisuuksia eri käyttökohteissa.

5.2 Pistepilviaineistosta irrotettavia piirteitä

Pistepilviaineistosta irrotetuilla piirteillä tarkoitetaan tämän tutkimuksen yhteydessä erilaisia kohteita ja muutoksia, joiden sisältämää tietoa voitaisiin hyödyntää muissa toiminnoissa, kuten suunnittelussa, rakentamisessa ja kunnossapidossa. Kohteita voivat olla esimerkiksi pistepilviaineistossa olevat portaalit sekä valaisinpylväät, joiden tasojainti- ja korkeustiedot tiedetään kyseisen aineiston tarkkuustason tarkkuudella. Muutoksia voivat puolestaan olla esimerkiksi ajassa tapahtuvat muutokset. Niitä voidaan tarkastella muun muassa niin, että kahta samasta kohdasta eri aikoina laserkeilattua pistepilveä verrataan toisiinsa ja näin saadaan selville mahdolliset poikkeamat.

Kohteet

Kirjallisuusselvityksen yhteydessä tehdystä mallinnusohjeiden tarkasteluista saatiin viitteitä niistä kohteista, joiden mallintamisesta maastomallin tuottamisen yhteydessä voisi olla hyötyä. Myös asiantuntijoiden haastatteluista nousi esiin useita erilaisia kohteita. Seuraavassa on esitetty esimerkkejä pistepilvestä irrotettavista kohteista:

PISTEPILVESTÄ IRROTETTAVIA KOHTEITA: (Suluissa on esitetty mahdollisia kohteen esitystapoja)

- **Rakenteet ja järjestelmät** (esimerkiksi 3D-kappale tai -viiva)
 - johdot ja laitteet
 - sillat ja muut taitorakenteet, kuten melusteet ja kaiteet
 - sähkönsyöttö
- **Väylät** (3D-taiteviiva)
 - tiekaiteet
 - radan kiskot ja vaihteet
- **Vesien hallinta** (3D-kappale)
 - pumppaamot
 - rummut
 - hulevesiviemärit
- **Johdot ja laitteet** (3D-taiteviiva)
 - ilmajohdot
- **Väyläympäristö** (3D-kappale)
 - kalusteet
 - merkittävimmät istutukset ja puut
- **Valaistus** (3D-kappale)
 - valaisinpylväät
- **Liikenteenohjaus jalustoineen** (3D-kappale)
 - portaalit
 - opastaulut ja liikennemerkkit

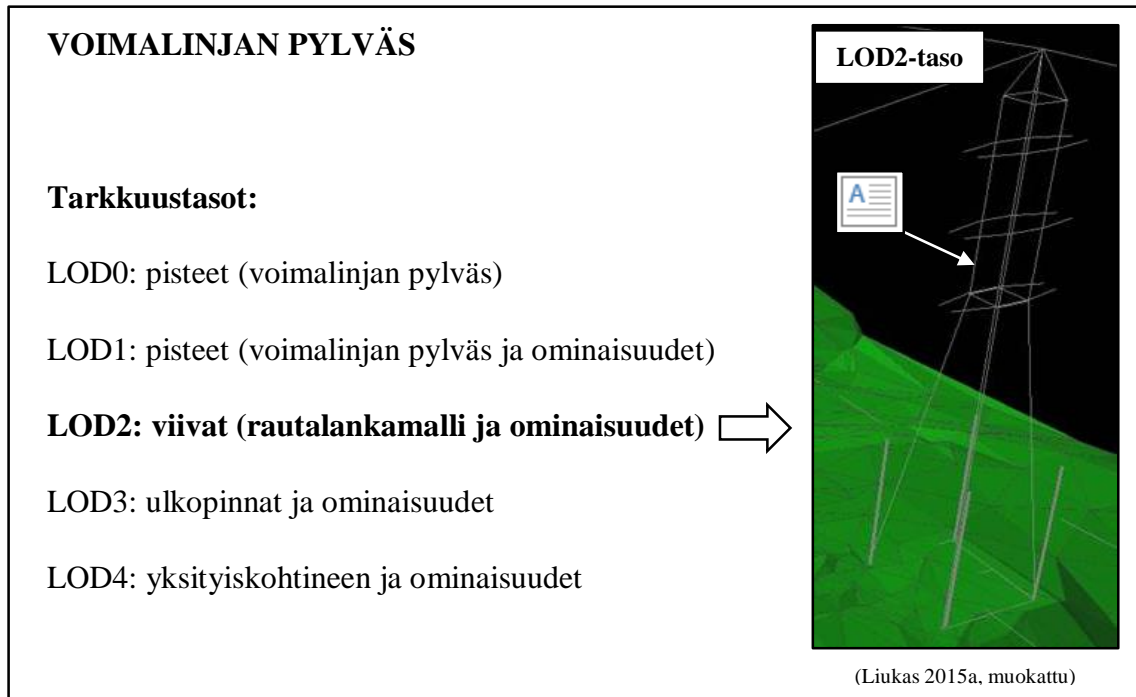
- telemaattiset laitteet
- liikenteenohjauksen merkittävät ohjauskeskukset
- **Ajoratamerkinnot** (3D-taiteviiva)
 - kaistaviivat ja muut merkittävät ajoratamerkinnot
- **Radan sähköistys ja turvalaitteet** (3D-kappale)
 - sähköratapylväiden sijainnit jalustoineen
 - merkittävät turvalaitteet jalustoineen
 - laitetilat ja muut merkittävät rakenteet
- **Rakennukset**
 - seinä- ja räystäslinjat sekä julkisivut
- **Kunnossapidon kohteita**
 - esimerkiksi ojien syvyydet, vaarallisten heittojen sijainnit, reunapainumat ja palteet

Pistepilvestä irrottamisen jälkeen kohteet voivat vaatia mahdollisesti erilaisia lisämäärittelyjä tai -toimintoja, kuten korkeuden ja materiaalityypin määrittämistä tai jonkin tunnusluvun laskemista.

Kohteita voitaisiin mallintaa esimerkiksi 3D-kappaleina, -viivoina ja/tai -pisteinä, kuten ylläolevassa listauksessa oli jo esitettykin. Tämä mallinnus- ja esitystapa noudattaa suurelta osin mallinnusohjeiden vaatimuksia. Tällaisesta mallinnustavasta olisi se hyöty, että kaikki kohteet, kuten jo olemassa olevat ja suunnitellut, tulisivat mallinnettua yhteisellä tavalla. Eroa kohteiden välillä siinä, että mikä on olemassa olevaa ja mikä suunniteltua, voisi tehdä esimerkiksi eri väreillä, värien voimakkuuksilla tai muulla vastaavalla tavalla.

Aina ei ole välttämätöntä ja tarpeellista mallintaa kohteita kovin tarkasti ja yksityiskohtaisesti, vaan joissakin tapauksissa voi hyvin riittää yksinkertaisempikin esitystapa. Toisinaan jo pelkkä pisteistä koostuva kohde voi olla sellaisenaan riittävän havainnollisesti mallinnettu. Kohteita mallinnettaessa tulisikin ottaa kantaa siihen sitä, että kuinka tarkasti ja yksityiskohtaisesti mallintamista pitäisi tehdä. Erityisesti on huomioitava se, että poikkeavatko olemassa olevan kohteen mallinnusvaatimukset vastaavan suunniteltavan kohteen vaatimuksista.

Kohteiden mallintamisessa voitaisiin mahdollisesti hyödyntää myös Level of Detail-ajattelua. Kirjallisuusselvityksen yhteydessä tästä jo kerrottiin, ja siellä myös esitettiin esimerkinomaisesti, miten valaisinpylvään mallintamisessa voitaisiin soveltaa eri tarkkuustasoa (LOD). Seuraavalla sivulla kuvassa 15 on kuvattu esimerkki voimalinjapylvään mallintamisesta, jossa on sovellettu vastaavaa tarkkuustasoihin (yksityiskohtaisuus) pohjautuvaa luokittelua.



Kuva 15. Esimerkki mallinnettavan voimalinjapylvään tarkkuustasoista.

Muutokset

Asiantuntijoiden haastatteluista nousi esiin useita esimerkkejä sellaisista pistepilvestä irrotettavista muutoksista, joiden sisältämää tietoa he voisivat hyödyntää. Seuraavassa on näistä muutamia esimerkkejä:

- Rakentamisen yhteydessä voidaan laserkeilata esimerkiksi kallioleikkauksia tai tunneleiden suuaukkoja, jonka jälkeen pistepilviaineiston avulla voidaan seurata muun muassa louhinnan *toteutumaa*. Samalla saadaan selville louhinnan mahdolliset ”ryöstöt” ja näin osataan varata riittävästi betonimassaa.
- Kunnossapidon näkökulmasta olisi tärkeää tietää *kuivatukseen ja päällysteen pintakuntoon liittyviä muutoksia*, kuten
 - ojien ja luiskien muutokset
 - veden virtaussuunnat
 - tien pinnan muutos, eli mihin tulee painumia, uria, halkeamia, heittoja tai muita pinnan epätasaisuuksia, olivat ne sitten poikki- tai pituussuunnassa
- Tärkeää olisi saada tietoa siitä, *miten tien pinta muuttuu ajassa*.

Myös muutosten yhteydessä voidaan tarvita lisämäärittelyjä tai -toimintoja. Esimerkkinä voisi olla algoritmi, joka laskee tietyn tunnusluvun, kuten heiton tai urasyvyyden haitallisuuden. Näille olisi ennalta määritetty raja-arvoja, joita ei saisi ylittää. Näiden tietojen perusteella olisi mahdollista löytää sopivimmat kohde-ehdokkaat ylläpito- ja korjausohjelmaan.

5.3 Maastomallin laadun varmentaminen ja raportointi

Laadun varmentaminen

Kirjallisuusselvityksessä tarkasteltiin maastotietojen mittausohjeen mukaisia ohjeita ja määräyksiä sekä paikkatietoalalla käytettäviä laadunohjaus ja -varmistus menetelmiä, kuten JHS-suosituksia.

Mittausohjeessa kerrotaan, että ennen maastomalliaineiston luovuttamista tilaajalle, toimittaja tekee sille tarkastuksen, eli niin sanotun itselle luovutuksen. Tämä tarkastus perustuu toimittajan omaan laatujärjestelmään ja sen on täytettävä tietyt vaatimukset. Sen jälkeen maastomalliaineiston toimittaja pyytää tilaajalta aineiston tarkastuksen. Nykyisen mittausohjeen mukaan tilaaja tarkastaa toimittajan aineiston näytetarkastuksen avulla.

Tässä on ristiriitaa voimassaolevan ohjeen ja käytännön välillä, koska tarkastusta ei tehdä edellä mainitun näytetarkastuksen avulla, vaan aineiston tarkastus perustuu tarkistuspoikkileikkauksien mittaamiseen. Kyseistä menetelmää on käytetty jo edellisen ohjeen aikana. Sen voi tehdä joko tilaaja itse tai ulkopuolinen toimija eli valvontakonsultti. Tältä osin voimassa oleva ohje ja käytäntö tulisikin saattaa vastaamaan toisiaan.

Haastateltavat pitivät nykyistä tarkistuspoikkileikkausmittauksin tehtävää tarkastusta hyvänä menetelmänä. Toisaalta nähtiin, että näytetarkastukseen pohjautuva menetelmä voisi myös olla hyvä tapa tarkastaa maastomallin laatua. Seuraavassa on esitelty yleisesti molempien menetelmien hyviä ja huonoja puolia:

Tarkistuspoikkileikkausmittauksiin perustuva menetelmä

- + Paljon käytetty ja tunnettu menetelmä alan toimijoiden keskuudessa
- + Selkeä ja yksinkertainen
- Ei ole ”reilu” siinä mielessä, että keskittyy virheiden etsimiseen

Näytetarkastusmenetelmä

- + Perustuu alan standardeihin ja sisältyy paikkatietoalalle tehtyyn JHS-suositukseen (aineistojen tuottajat voitaneen katsoa kuuluvan paikkatietoalaan)
- + Tasapuolisempi siinä mielessä, että tarkastettavien kohteiden valinta perustuu otantaan
- Koetaan vaikeaksi ja hankalaksi käyttää
- Menetelmän käytöstä on vähän kokemusta

Näytetarkastusmenetelmää voisi olla hyvä pilotoida ja kokeilla muutamissa käytännön hankkeissa. Tätä kannattaisi lähteä kehittämään ja viemään eteenpäin yhdessä aineistojen tuottajien kanssa. Samassa yhteydessä tulee korjata mittausohjeessa olevien muuta-

mien kohteiden osalta liian tiukka tarkkuusvaatimus realistisemmiksi, jotta niihin on mahdollisuuksia päästä myös käytännön mittaustyössä. Menetelmää tulisi saada selkeämmäksi ja yksinkertaisemmaksi. Tässä voisi tutkia, voisiko esimerkiksi ohjelmistotekniikan keinoin ja menetelmin automatisoida joitain prosesseja, ja siten parantaa sekä yksinkertaistaa näytetarkastusmenetelmän käyttöä.

Maastomalliaineiston tarkastajan osalta ei ole syytä muuttaa nykyistä käytäntöä ja ohjeistusta, jossa tarkastuksen suorittaa aineiston tilaaja tai tilaajan toimesta kolmas osapuoli eli valvontakonsultti. JHS-suosituksessa ohjeistettiin, että tarkastuksen tekisi nimenomaan aineiston tuottaja. Tämä onkin perusteltua siinä mielessä, ettei asiakkaalla eli tilaajalla ole mahdollisuuksia parantaa tuotantoprosessin tai tietoaineiston laatua. Sen voi tehdä vain aineiston tuottaja tarkastuksesta saamansa tiedon ja palautteen avulla.

Tämän työn yhteydessä on muodostunut sellainen käsitys, että maastomallien laadussa olleet ongelmat eivät ole varsinaisesti johtuneet esimerkiksi tuotantoprosesseista, vaan pääsääntöisesti siitä, ettei ole toimittu riittävän huolellisesti voimassa olevien ohjeiden mukaisesti. Muun muassa tästä johtuen maastomalliaineiston tarkastuksen on hyvä edelleen suorittaa joko tilaaja itse tai hänen edustajansa.

Maastomallin laadun varmentamisessa nähtiin myös laserkeilausaineiston hyödyntämismahdollisuuksia. Pistepilviaineistoa voitaisiin hyödyntää esimerkiksi tarkistusmateriaalina kartoituskohteiden osalta, kun selvitetään sitä, että onko kaikki vaadittavat kohteet tullut mitattua vai puuttuuko mahdollisesti joitakin kohteita kokonaan.

Raportointi

Maastomallin laadun varmentamisen haastatteluiden yhteydessä asiantuntijoilta kysyttiin myös raportointiin liittyviä kysymyksiä. Raportointi on yksi tärkeä osa laadun varmentamista, koska sen avulla voidaan muun muassa todentaa, että on toimittu vaatimusten ja ohjeiden mukaisesti. Seuraavassa on esitetty muutamia tärkeimpiä esiin nousseita seikkoja raportoinnin osalta:

1. Raporttirungon tulisi olla selkeä ja tiivistetty.
2. Raportista tulisi löytyä olennaisimmat asiat, kuten tiedon hankintatapa ja hankinnan ajankohta, tarkkuus taso, koordinaatti- ja korkeusjärjestelmä, liitteet, maastomallin mittausmenetelmä ja sen tarkistustapa sekä tieto siitä, missä ovat suurimmat poikkeamat.
3. Raportointi voitaisiin tehdä taulukkomuotoiseen dokumenttiin, johon kirjataan lyhyesti ja selkeästi tärkeimmät asiat. Mittausohjeessa voisi olla tästä malliesimerkki.
4. Raportoinnin yhteys maastomalliaineistoon tulisi säilyä läpi koko toimitusketjun ja tätä tulisikin kehittää nykyisestä tilanteesta.
5. Tulisi sopia ja määrittää vakio metatiedot, jotka pitää aina löytyä. Tämä tukisi tietomallipohjaista ajattelutapaa.

6. YHTEENVETO

Tämän diplomityön tavoitteena oli selvittää 3D-laserkeilausaineiston hyödyntämistä inframallintamisen yhteydessä ja sen lopputuotteen eli maastomallin laadun varmentamista. Kirjallisuudesta ja asiantuntijoiden haastatteluista saatiin selville useita laserkeilausaineiston hyödyntämismahdollisuuksia. Varsinkin kirjallisuudesta löytyi monipuolisesti viitteitä mahdollisista käyttökohteista. Asiantuntijoiden haastatteluista nousi esiin erityisesti suunnitteluun ja kunnossapitoon liittyviä käyttökohteita. Näissä hankevaiheissa hyödyntämistä on jo tehtykin jonkin verran. Haastatteluihin olisi ollut hyvä saada hieman enemmän rakentamisen näkökulmaa hyödyntämismahdollisuuksiin liittyen.

Hyödyntämismahdollisuuksia eri käyttökohteissa luokiteltiin inframallipohjaisen hankkeen eri vaiheiden mukaan (suunnittelu, rakentaminen ja kunnossapito). Näiden vaiheiden lisäksi tunnistettiin useita muita erilaisia käyttökohteita, joissa laserkeilausaineistoa voidaan hyödyntää hankkeen elinkaaren aikana. Eri laserkeilausmenetelmien soveltuvuudesta kuhunkin käyttökohteeseen luokiteltiin yleisellä tasolla. Joissakin tapauksissa voidaan mahdollisesti käyttää useampaakin eri menetelmää ja joihinkin tapauksiin saattaa soveltua vain yksi tietty menetelmä. Käyttökohteen laajuus ja ominaisuudet määräävät yleensä sen, mikä on soveltuvin mittausten menetelmä juuri kyseiseen tapaukseen.

Pistepilviaineistosta irrotettavia erilaisia piirteitä, kuten kohteita ja muutoksia löydettiin useita. Piirteiden irrottamisella tarkoitetaan sitä, että pistepilviaineistosta irrotettaisiin esimerkiksi erilaisia kohteita ja näiden sisältämää tietoa voitaisiin hyödyntää muiden toimintojen yhteydessä. Suunnittelussa hyödyntäminen voisi olla sellaista, että pistepilviaineistosta irrotettaisiin esimerkiksi portaaleja kuvaavia kohteita. Näiden kohteiden sisältämän kolmiulotteisen pistetiedon avulla portaali voitaisiin mallintaa esimerkiksi 3D-viivoiksi. Joissakin tapauksissa jo pelkistä pisteistä koostuva kohde voisi sellaisenaan olla riittävän havainnollinen esitysmuoto. Varsinaista mallinnusta ei tarvitsisi välttämättä tehdä kaikille kohteille. Kohteiden mallinnukset olisi tarkoitus tehdä samalla kertaa maastomallin tuottamisen yhteydessä. Näin mahdollistettaisiin suunnittelun tarpeisiin jo valmiiksi kolmiulotteista lähtötietoa.

Haastatteluista saatiin tietoa pistepilviaineistosta irrotettavista muutoksista. Yksi tällainen voisi olla ajassa tapahtuvan muutoksen ja sen sisältämän tiedon hyödyntäminen. Erityisesti kunnossapidon puolelta tuli monia esimerkkejä ja ehdotuksia mahdollisista toiminnoista, joiden yhteydessä tämän kaltaisella tiedolla voisi olla käyttöä. Pistepilviaineistosta irrotettavan muutostiedon hyödynnettävyyttä ja käytettävyyttä lisäisi se, että tieto olisi jollain tavalla analysoitua ja siitä olisi mahdollista saada irti jonkinlaisia ”tunnuslukuja”.

Kirjallisuusselvityksen ja haastatteluiden perusteella esiin nousi ristiriitaa maastomalliaineiston laadun tarkastusmenetelmästä. Mittausohjeessa kerrotaan, että tarkastuksessa käytetään näytetarkastukseen perustuvaa menetelmää, mutta käytännössä näin ei tehdä, vaan tarkastus perustuu tarkistuspoikkileikkauksittaisiin. Tarkistuspoikkileikkauksiin perustuvaa menetelmää on käytetty jo edellisen ohjeen aikana, joten se on alan toimijoiden keskuudessa tunnettu.

Laserkeilausaineiston lopputuotteen eli maastomallin laadun varmentamiseen liittyvissä haastatteluissa esille nousi useita erilaisia ongelmia. Maastomallien laatu on vaihdellut väliin paljonkin ja niissä on ollut monenlaisia puutteita ja virheitä. Haastatteluiden perusteella syiden arveltiin johtuvan esimerkiksi kiireestä ja siitä, ettei oltu toimittu riittävän huolellisesti mittausohjeiden mukaan. Asiantuntijoiden mielestä tarpeeksi laadukasta maastomalliaineistoa on kuitenkin mahdollista tuottaa, kunhan toimitaan ohjeiden mukaisesti.

Diplomityölle asetetut tavoitteet onnistuttiin mielestäni pääosin saavuttamaan. Varsinkin laserkeilausaineiston hyödyntämisen näkökulmasta tavoitteisiin päästiin valtaosin hyvin. Vaikka kirjallisuuslähteitä ei ollutkaan kovin runsaasti, niin mielestäni tässä työssä lähteiden laatu korvaa määrän, koska joukossa oli useita kattaviakin ja laadukkaita selvityksiä sekä tutkimuksia alan tunnetuilta asiantuntijoilta. Haastateltavia asiantuntijoita oli riittävästi ja edustaen sopivasti hieman eri näkökulmia. Tämän tavoitteen osalta aineistoa oli tarpeeksi. Työssä olisi ollut hyvä päästä testaamaan esimerkiksi pistepilvestä irrotettavien kohteiden mallintamista. Siinä olisi voinut tarkemmin tarkastella muun muassa mallinnettavan kohteen yksityiskohtaisuuden tasoja.

Maastomallin laadun varmentamisen tarkasteluissa jäätiin melko yleiselle tasolle. Kirjallisuuslähteitä laadun varmentamisen osalta olisi saanut olla enemmän. Haastateltavien asiantuntijoiden lukumäärä oli verrattain pieni, mutta sitäkin asiantuntevampi. Ehkä myös haastateltavia olisi voinut olla muutama asiantuntija enemmän, niin tällöin mahdolliset eroavaisuudet eri kysymyksissä ja näkemyksissä olisivat voineet nousta paremmin esiin. Myös maastomallin laadun varmentamisessa olisi ollut hyvä päästä testaamaan esimerkiksi näytetarkastusmenetelmää.

LÄHTEET

3D modelling above and below ground, (2015) rudi.net, verkkosivu. Saatavissa (viitattu: 25.8.2015) <http://www.rudi.net/node/20641>.

Ahlavuo, M., Hyyppä, H. ja Kukko, A. (2009) Lähilaserkeilauksella kohde kolmiulotteiseksi, *Positio*, No. 1, 2009, s. 18–21, Saatavissa (viitattu: 7.7.2015) http://www.paikkatietoikkuna.fi/c/document_library/get_file?uuid=b9b082a3-7c49-47ee-8d34-238b5ef688c3&groupId=108478.

Airborne Laser Scanners, (2015) Scanner Selection Guide, Airborne Laser Scanning, RIEGL Laser Measurement Systems GmbH, verkkosivu. Saatavissa (viitattu: 27.8.2015) <http://www.riegl.com/nc/products/airborne-scanning/selelection-guide/print.html>.

ALS System Schematic, (2015) Airborne Laser Scanning, Geospatial Modeling & Visualization, verkkosivu. Saatavissa (viitattu: 18.8.2015) <http://gmvc.cast.uark.edu/scanning-2/airborne-laser-scanning/>.

California Department of Transportation, CALTRANS, (2011) Terrestrial Laser Scanning Specifications, *Surveys Manual*, Chapter 15, p. 32. Saatavissa (viitattu: 6.8.2015) http://www.dot.ca.gov/hq/row/landsurveys/SurveysManual/15_Surveys.pdf.

Chang, J. C., Cunningham, C. M., Findley, D. J. & Kaitlyn Tsai, M. (2012) Infrastructure Investment Protection with LiDAR, North Carolina Department of Transportation, Research Project, No. 2012–15, p. 81. Saatavissa (viitattu: 23.7.2015) <http://www.ncdot.gov/doh/preconstruct/tpb/research/download/2012-15finalreport.pdf>.

Cronvall, T., Kråknäs, P. ja Turkka, T. (2012) Laserkeilauksen käyttö liikennetunnelien kunnossapidon hallinnassa, *Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 41/2012*, Liikennevirasto, Helsinki 2012, s. 84. Saatavissa (viitattu: 25.5.2015) http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/lts_2012-41_laserkeilauksen_kaytto_web.pdf.

Duh, G. (2015) Light Detection and Ranging (LiDAR)-luentokalvot, *Digital Terrain Analysis-kurssi*, Portland State University. Saatavissa (viitattu: 18.8.2015) <http://web.pdx.edu/~jduh/courses/geog493f12/Week04.pdf>.

Elberink, S.O., Hyyppä, J., Jaakkola, A., Kaartinen, H., Kukko, A., Lehtomäki, M., Pu, S., Rutzinger, M., Vaaja, M. & Vosselman, G. (2013) Mobile Mapping – Road Environment Mapping using Mobile Laser Scanning, European Spatial Data Research, Official Publication, No. 62, pp. 49–100. Saatavissa (viitattu: 31.5.2015) http://www.euroedr.net/sites/default/files/uploaded_files/62_1.pdf.

Glennie, C., Hurwitz, D., Knodler, M., Olsen, M. J., Persi, F., Reedy, M., Roe, G. V., Squellati, A., Tuss, H. & Williams, K. (2013) Guidelines for the Use of Mobile LIDAR in Transportation Applications, NCHRP Report 748, National Cooperative Highway Research Program, Transportation Research Board, Washington, D.C., 2013, p. 208. Saatavissa (viitattu: 9.7.2015) http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/nchrp/nchrp_rpt_748.pdf.

Habib, A. F. (2010) Airborne LIDAR Mapping, kirjassa: Manual of Geospatial Science and Technology, Second Edition, Bossler, J. D. (toim.), Campbell, J. B., McMaster, R. B. & Rizos, C. (apulaistoim.), CRC Press, pp. 439–465.

Hartikainen, L. (2015) CEO, 3point Oy, sähköpostiviesti.

Heikkilä, R. & Marttinen, M. (2013) Development of bim based rehabilitation and maintenance process for roads, Proceedings of the 30th ISARC, Montréal, Canada, pp. 1216–1222. Saatavissa (viitattu: 27.7.2015) <http://www.iaarc.org/publications/fulltext/isarc2013Paper320.pdf>.

Holopainen, M., Hyyppä, J. ja Vastaranta, M. (2013) Laserkeilaus metsävarojen hallinnassa, Helsingin yliopiston metsätieteiden laitoksen julkaisuja 5: 1–75, s. 76. Saatavissa (viitattu: 21.5.2015) <http://hdl.handle.net/10138/42935>.

Hyyppä, H. ja Kukko, A. (2010) Liikenneympäristöt kolmiulotteisiksi liikkuvalla kartoituksella, Positio-lehti, 2/2010, s. 8. Saatavissa (viitattu: 18.8.2015) http://www.paikkatietoikkuna.fi/c/document_library/get_file?uuid=5928babd-551d-4767-9968-4fba789143f4&groupId=108478.

Hyyppä, J. and Zhu, L. (2014) The Use of Airborne and Mobile Laser Scanning for Modeling Railway Environments in 3D, Remote Sensing, Volume 6, Issue 4, pp. 3075–3100. Saatavissa (viitattu: 8.8.2015) <http://www.mdpi.com/2072-4292/6/4/3075>.

Hyyppä, J., Jaakkola, A. & Lin, Y. (2011) Mini-UAV-Borne LIDAR for Fine-Scale Mapping, IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, Vol. 8, No. 3, pp. 426–430.

InfraBIM, (2015) Yleiset inframallivaatimukset 2015 – YIV 2015, verkkosivu. Saatavissa (viitattu: 6.7.2015) <http://www.infrabim.fi/yiv2015/>.

InfraBIM-tiedotuslehti, (2015) RYM Oy, PRE-ohjelman Infra FINBIM-työpaketti ja BuildingSMART Finland, Infra-toimialaryhmä, s. 24. Saatavissa (viitattu: 8.9.2015) http://www.infrabim.fi/wp-content/uploads/2015/03/INFRABIM_Tiedotuslehti2015_web.pdf.

Jaakkola, A. (2015) Low-cost Mobile Laser Scanning and its Feasibility for Environmental Mapping, Aalto University publication series, doctoral dissertations 65/2015, p. 168. Saatavissa (viitattu: 6.8.2015) <https://aaltodoc.aalto.fi/bitstream/handle/123456789/16212/isbn9789526061986.pdf?sequence=1>.

Jaakkola, M., Leinonen, J. ja Onninen, H. (2015) Ajoneuvolaserkeilaus tien painuman mittauksessa, Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 8/2015, Liikennevirasto, Helsinki 2015, s. 166. Saatavissa (viitattu: 27.7.2015) http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf8/lts_2015-08_ajoneuvolaserkeilaus_tien_web.pdf.

Janhunen, N., Pienimäki, M. ja Parantala, S. (2015) Inframalli ja mallinnus hankkeen eri suunnitteluvaiheissa, Osa 4, Yleiset inframallivaatimukset YIV 2015, BuildingSMART Finland, s. 44. Saatavissa (viitattu: 5.7.2015) http://infrabim.fi/yiv-2015/YIV2015_Mallinnusohjeet_OSA4_Mallinnus_hankkeen_eri_vaiheissa_V_1_0.pdf.

JHS 160, Paikkatiedon laadunhallinta, (2006) JHS-suositukset, JUHTA-julkisen hallinnon tietohallinnon neuvottelukunta, s. 22. Saatavissa (viitattu: 30.7.20) <http://docs.jhs-suositukset.fi/jhs-suositukset/JHS160/JHS160.pdf>.

JHS, (2015) JHS-suositukset, JUHTA -julkisen hallinnon tietohallinnon neuvottelukunta, verkkosivu. Saatavissa (viitattu: 30.7.2015) <http://www.jhs-suositukset.fi/web/guest/jhs>.

Kajananen, J. ja Muukkonen, J. (2009) Lähtötiedot, kirjassa: Tietotekniikkaa hyödyntävä infrasuunnittelu, Junnonen, J.M. (toim.), Rakennusteollisuuden Kustannus RTK Oy, Sastamala, s. 102.

Korkeusmallit, (2015) Teematietoa, Paikkatietokeskus FGI, Maanmittauslaitos, verkkosivu. Saatavissa (viitattu: 18.8.2015) <http://www.fgi.fi/fgi/fi/teemat/korkeusmallit>.

Laaksonen, H. & Vilhomaa, J. (2011) Valtakunnallinen laserkeilaus – testityöstä tuotantoon, The Photogrammetric Journal of Finland, Vol. 22, No. 3, pp. 82–91. Saatavissa (viitattu: 28.5.2015) http://foto.hut.fi/seura/julkaisut/pjf/pjf_e/2011/PJF2011_3_Vilhomaa_Laaksonen.pdf.

Leica ALS80, (2015a) Airborne Laser Scanner, Airborne LIDAR, Airborne Sensors, Products, Leica Geosystems, verkkosivu. Saatavissa (viitattu: 15.9.2015) http://www.leica-geosystems.com/en/Leica-ALS80-Airborne-Laser-Scanner_105650.htm.

Leica Scan Station P30 & P40, (2015b) HDS Laser Scanners & SW, Products, Leica Geosystems, verkkosivu. Saatavissa (viitattu: 15.9.2015) http://www.leica-geosystems.com/en/Leica-ScanStation-P30-P40_106396.htm.

Lidar Systems, (2015) Airborne Survey, Products, Teledyne Optech, verkkosivu. Saatavissa (viitattu: 15.9.2015) <http://www.teledyneoptech.com/index.php/products/airborne-survey/lidar-systems/>.

Liikennevirasto, (2011) Tie- ja ratahankkeiden maastotiedot, Mittausohje, Liikenneviraston ohjeita 18/2011, Liikennevirasto, Helsinki 2011, s. 202. Saatavissa (viitattu: 3.6.2015) http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/lo_2011-18_tie-_ja_ratahankkeiden_web.pdf.

Liikennevirasto, (2014) Tiehankkeiden mallipohjaisen suunnittelun hankinta, Koekäytössä oleva ohje, Liikenneviraston ohjeita 20k/2014, Liikennevirasto, Helsinki 2014, s. 50. Saatavissa (viitattu: 4.6.2015) http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf8/lo_2014-20_tiehankkeiden_mallipohjaisen_web.pdf.

Liukas, J. (2015a) Johtava konsultti, Sito Oy, Vt6-Kouvola, Yleissuunnitelmavaihe, Ajoneuvolaserkeilaus, esityskalvot.

Liukas, J. (2015b) Johtava konsultti, Sito Oy, sähköpostiviesti.

Liukas, J. ja Virtanen, J. (2015) Lähtötiedot, Osa 3, Yleiset inframallivaatimukset, YIV 2015, BuildingSMART Finland, s. 22. Saatavissa (viitattu: 5.8.2015) http://infrabim.fi/yiv-2015/YIV2015_Mallinnusohjeet_OSA3_Lahtotiedot_V_1_0.pdf

Liukkonen, O. (2015) Kuntien paikkatiedon polku kantakartasta 3D-kaupunkimalliin, Aalto-yliopisto, Insinööritieteiden korkeakoulu, diplomityö, s. 92. Saatavissa (viitattu: 31.8.2015) <https://aaltodoc.aalto.fi/handle/123456789/16005>.

Lohr, U. & Wehr, A. (1999) Airborne laser scanning – an introduction and overview, ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, Volume 54, Issues 2–3, pp. 68–82.

Mäkinen, H. (2015) Maastotietoasiantuntija, Varsinais-Suomen ELY-keskus, puhelin-keskustelu.

Mobile LiDAR Technical Specifications, (2015) The Sanborn Map Company, Inc., verkkosivu. Saatavissa (viitattu: 18.8.2015) <http://www.sanborn.com/mobile-lidar-technical-specifications/>.

Niskanen, J. (2015) Tietomallipohjainen hanke, Osa 1, Yleiset inframallivaatimukset, YIV2015, BuildingSMART Finland, s. 17. Saatavissa (viitattu: 6.7.2015) http://infrabim.fi/yiv-2015/YIV2015_Mallinnusohjeet_OSA1_Tietomallipohjainen_hanke_V_1_0.pdf.

Salomäki, R. (2003) Suorituskykyiset prosessit – hyödynnä SPC, Metalliteollisuuden keskusliitto, MET, MET-julkaisuja, Nro. 9, 1999, 2. uudistettu painos, Tampere, s. 424

Seren, K. (2014) InfraBIM-sanasto, Eurostep Oy, s. 50. Saatavissa (viitattu: 31.8.2015) http://www.infrabim.fi/wp-content/uploads/2013/10/InfraBIM_Sanasto_0-7.pdf.

Simola, S. (2014) Menetelmiä liikkuvan laserkeilauksen aineistojen geometrisen laadun parantamiseen metsäympäristössä, Aalto-yliopisto, Insinööritieteiden korkeakoulu, diplomityö, s. 75. Saatavissa (viitattu: 16.9.2015) <https://aaltodoc.aalto.fi/handle/123456789/14549>.

StreetMapper 360, (2015) StreetMapper, Products, Ingenieur-Gesellschaft für Interfaces, IGI mbH, verkkosivu. Saatavissa (viitattu: 25.8.2015) <http://www.igi.eu/sm-360.html>.

Tiehallinto, (2009) EU-meluselvytys: Maasto- ja väestötietojen hankinta, Esiselvytys, Tiehallinnon selvityksiä 25/2009, s. 42 + liitt. 39 s. Saatavissa (viitattu: 28.8.2015) http://alk.tiehallinto.fi/julkaisut/pdf2/3201139-v-eu_meluesiselvytys_maasto_vaestotiedot.pdf.

VRT Finland Oy, (2014) Sulkujen 3D-mittausten kehittäminen, Kuurnan kanavaväliraportti, julkaisematon, s. 12.

Zhu, L. (2015) A Pipeline of 3D Scene Reconstruction from Point Clouds, Finnish Geospatial Research Institute FGI, National Land Survey of Finland, FGI Publications, Nro. 157, p. 206. Saatavissa (viitattu: 6.8.2015) <https://aaltodoc.aalto.fi/bitstream/handle/123456789/16214/isbn9789514802478.pdf?sequence=4>.

Haastattelut

Eskola, K. 2015. Hankinnan asiantuntija, Liikennevirasto. Videohaastattelu 22.6.2015.

Kuotesaho, A. 2015. Tie- ja rakennussuunnitelmavastaava, Pohjois-Pohjanmaan ELY-keskus. Haastattelu 15.6.2015.

Kuusela, P. 2015. Asiantuntija, Destia Oy. Puhelinhaastattelu 12.6.2015.

Laamanen, K. 2015. Projektipäällikkö, Sito Oy. Haastattelu 9.6.2015.

Liimatainen, J. 2015. COO, 3point Oy. Puhelinhaastattelu 24.6.2015.

Liukas, J. 2015. Johtava konsultti, Sito Oy. Haastattelu 10.6.2015.

Marttinen, M. 2015. Työpäällikkö, NCC Roads Oy. Haastattelu 9.6.2015.

Mäkinen, H. 2015. Maastotietoasiantuntija, Varsinais-Suomen ELY-keskus. Haastattelu 11.6.2015.

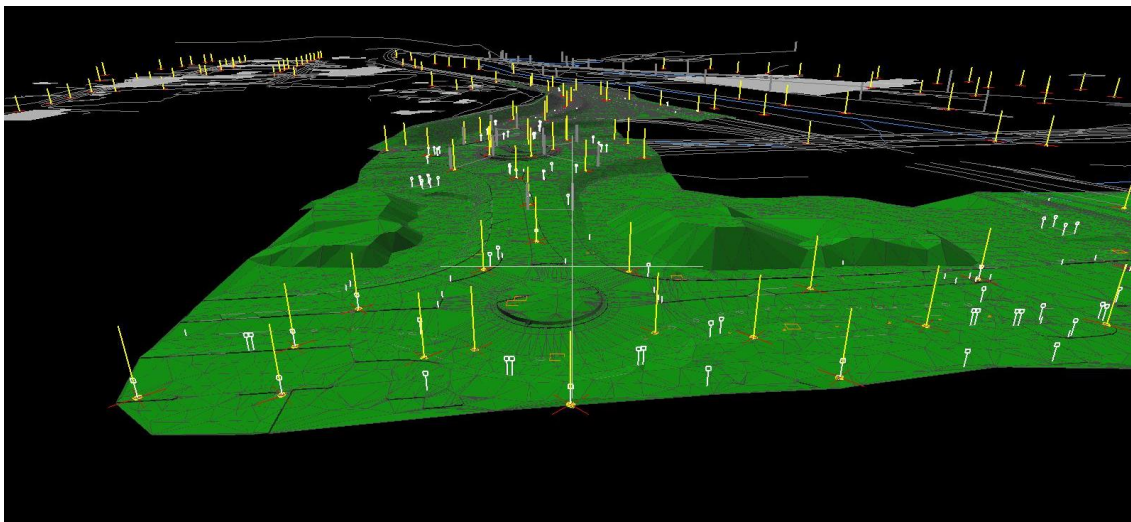
Petäjä, S. 2015. Hankinnan asiantuntija, Liikennevirasto. Haastattelu 10.6.2015.

Piispanen, M. 2015. Silta-asiantuntija, Liikennevirasto. Videohaastattelu 5.6.2015.

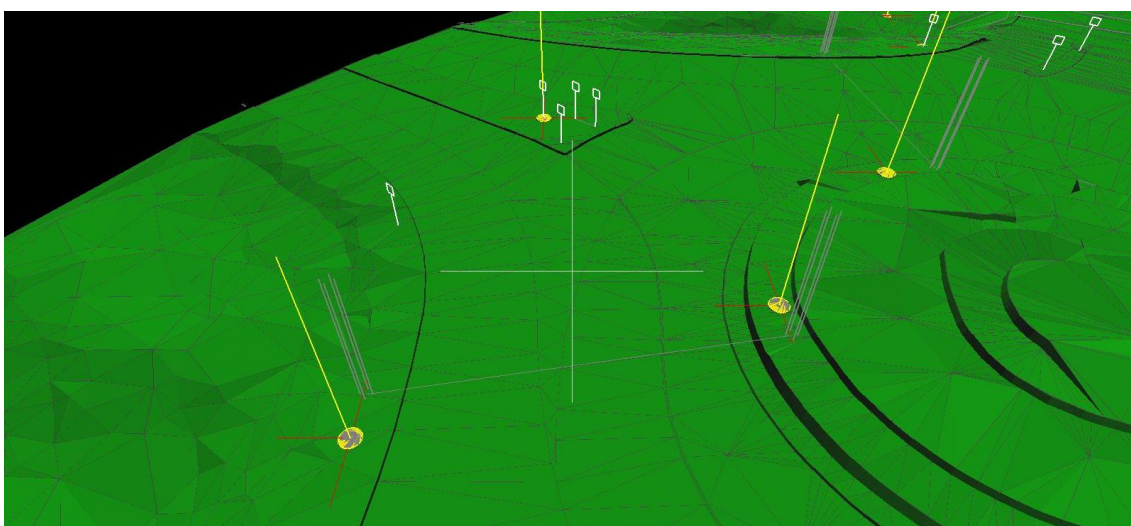
Ryynänen, M. 2015. Tiensuunnittelun johtava asiantuntija, Liikennevirasto. Haastattelu 10.6.2015.

Snellman, S. 2015. Yksikönpäällikkö, Destia Oy. Haastattelu 8.6.2015.

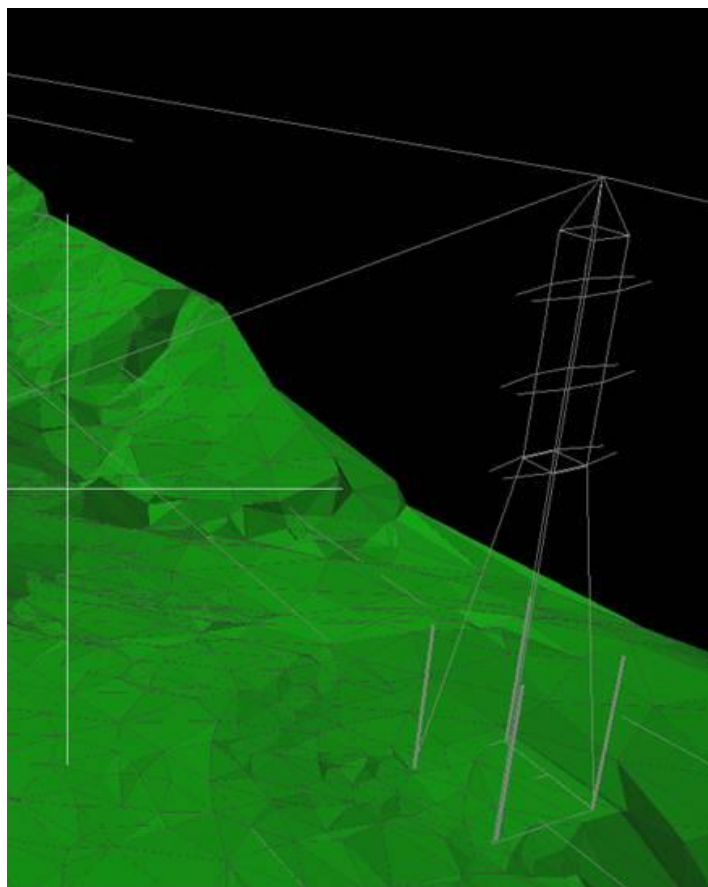
LIITTEET



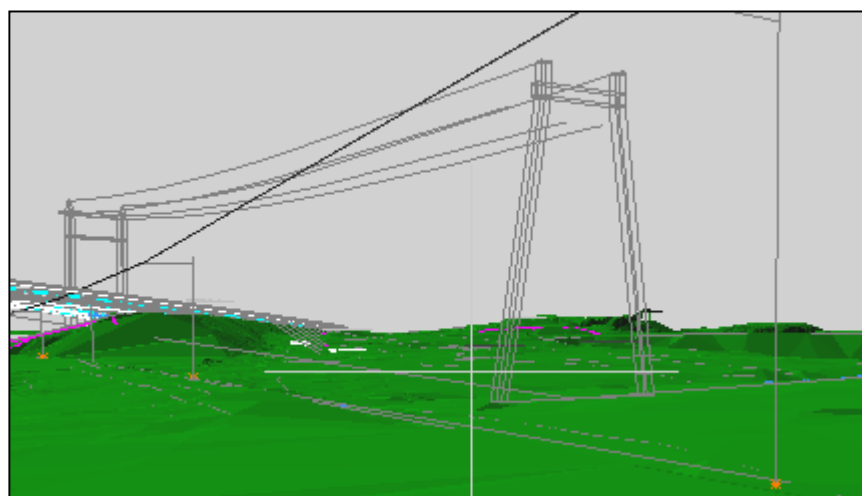
Kuva 1. Vt6-Kouvola, YS-vaihe. Maastomalli-mobiilikeilaus. (Liukas 2015a)



Kuva 2. Vt6-Kouvola, YS-vaihe. Maastomalli-mobiilikeilaus. (Liukas 2015a)



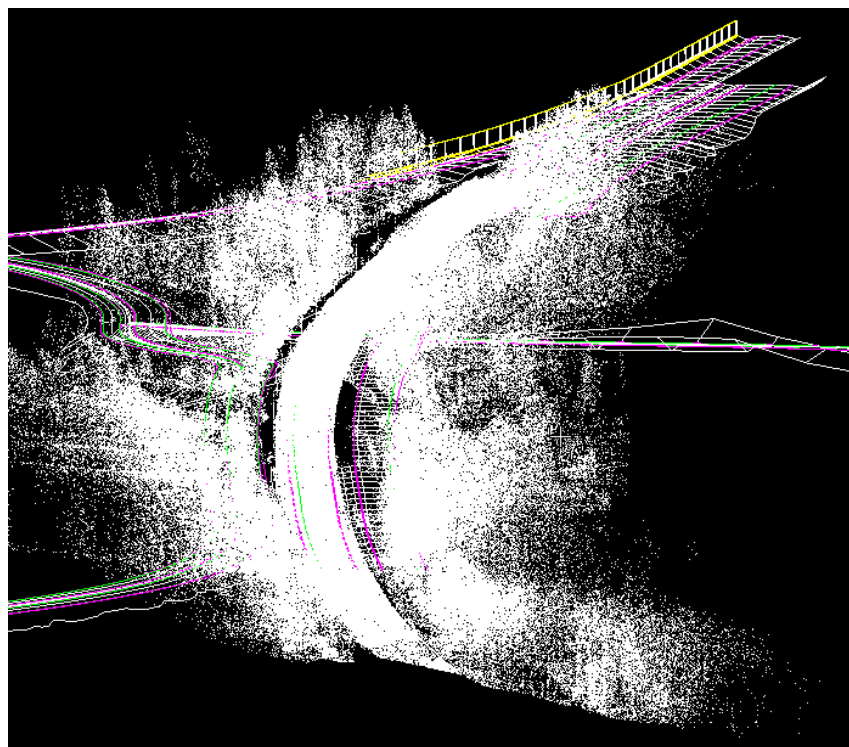
Kuva 3. Vt6-Kouvola, YS-vaihe. Lisämallinnus: pylvääit ja ilmajohdot. (Liukas 2015a)



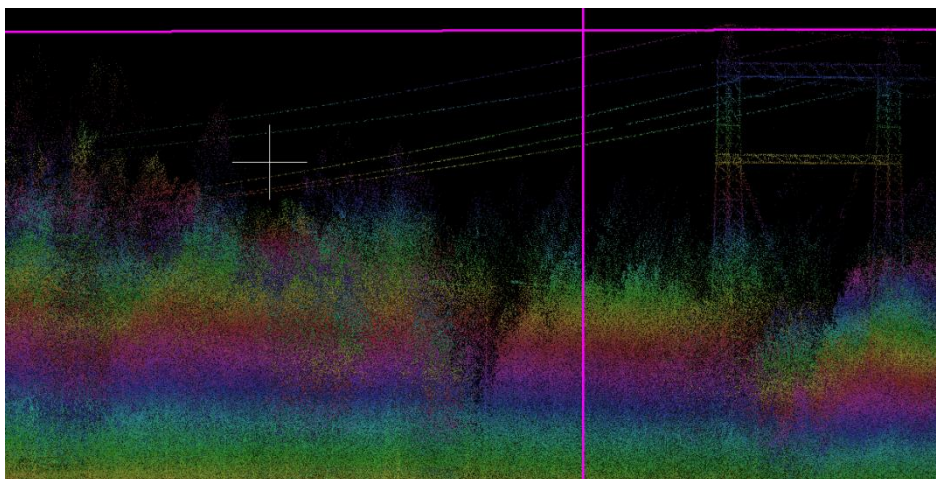
Kuva 4. Vt6-Kouvola, YS-vaihe. Lisämallinnus: pylvääit ja ilmajohdot. (Liukas 2015a)



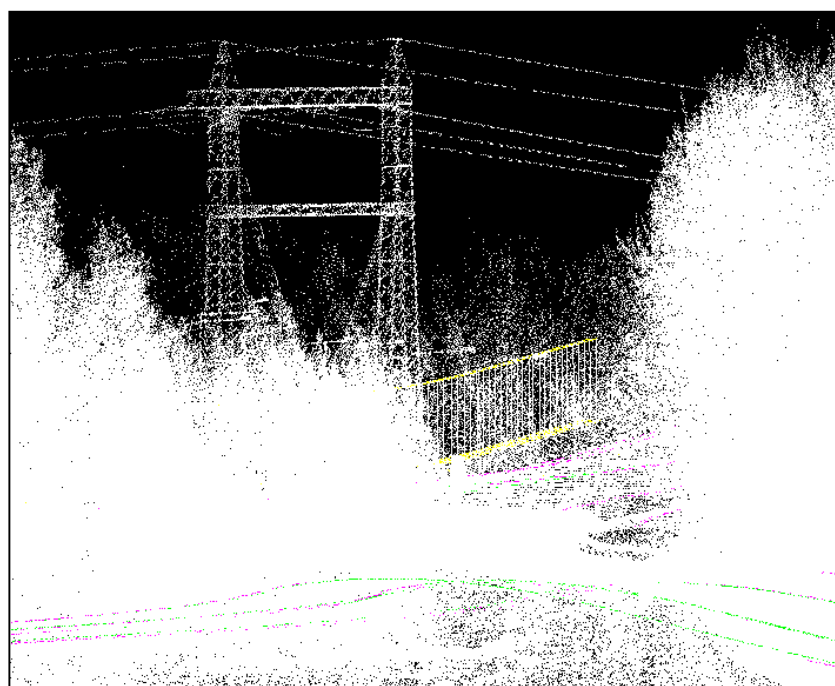
Kuva 5. Vt6-Kouvola, YS-vaihe. Pistepilvi (raakadata) ja 3D-malli. (Liukas 2015a)



Kuva 6. Vt6-Kouvola, YS-vaihe. Pistepilvi (raakadata) ja 3D-malli. (Liukas 2015a)



Kuva 7. Vt6-Kouvola, YS-vaihe. Pistepilvi (raakadata) ja 3D-malli. (Liukas 2015a)



Kuva 8. Vt6-Kouvola, YS-vaihe. Pistepilvi (raakadata) ja 3D-malli. (Liukas 2015a)